



Universidad
Politécnica
de Cartagena



E.T.S. de Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos y
de Ingeniería de Minas
Universidad Politécnica
de Cartagena

TRABAJO FIN DE GRADO

Inventario patológico en edificios y análisis after-shock del casco urbano de Lorca tras el sismo de 2011

Juan David Robles Robles

Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y
de Ingeniería de Minas

PASARELA GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Dirigido por:

Salvador García-Ayllón Veintimilla





ÍNDICE

1. MEMORIA	5
1.1. Historia y situación geológica.	7
1.2. Inventario y situación de los daños detectados	15
1.3. Principales causas de la problemática sísmica en Lorca	20
2. PLANOS	39
2.1. Planos de información	41
2.2. Planos de situaciones	43
2.3. Planos de análisis	46
3. ANÁLISIS	49
3.1. Preguntas para el análisis del terremoto	51
3.2. Análisis y soluciones para las patologías en edificación e infraestructuras	53
4. CONCLUSIONES	61
5. BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO I	69
ANEXO II	77





1. MEMORIA



1.1. Historia y situación geológica.

Antecedentes sísmicos en la Región de Murcia.

Desde que se tienen registros, la Región de Murcia tiene una gran actividad sísmica. Las zonas donde se han registrada mayor numero de terremotos son la ciudad de Murcia y Lorca.



En ambas ciudades cada pocos años se producen terremotos de diferentes intensidades, los cuales han causado daños de distinta importancia en casas, edificios y monumentos. Además en alguna ocasión, la población ha tenido que huir a la huerta o al campo para refugiarse durante un tiempo de las consecuencias de los seísmos.

Aunque cabe destacar que el terremoto más importante registrado en la Región, tuvo lugar en 1911 en Lorquí. Este seísmo produjo graves daños en todas las estructuras de la localidad, por lo cual se tuvo que desalojar de sus casas a la mayoría de las personas, pues muchas casas quedaron destruidas. Además la iglesia sufrió daños estructurales, debido a esto, se tuvo que desalojar los objetos de valor.





Las zonas que menos actividad sísmica de la Región son las zonas del noroeste y el altiplano, pues apenas se tienen registros de temblores en dichas zonas, aunque se pueden sentir los terremotos, debido a la proximidad entre comarcas en la Región.

En la siguiente tabla, se ordenan cronológicamente los terremotos más relevantes que se han producido en la Región de Murcia, desde que se tiene constancia de ellos.

Fecha	Localización	Descripción
25/08/1803	Valle del Guadalentín	Leve temblor
19/12/1818	Frontera entre Lorca y Totana	Hubo grietas en varios edificios y además se produjeron 12 heridos graves.
8/10/1821	Región de Murcia	Durante 20 días se produjeron una serie de terremotos por toda la región.
13/09/1829	Murcia y Orihuela	Fecha de comienzo de un largo periodo de temblores. El primer terremoto tuvo lugar el 14 de septiembre, con una gran fuerza destructora.
21/03/1829	Murcia	Se produjeron grandes seísmos, que obligaron a los habitantes de la ciudad a huir a la huerta por miedo derrumbamientos de las torres de las iglesias.
18/04/1829	Murcia	Más duradero que el anterior. Se produjeron daños en la fachada de la Catedral, con la pérdida de alguna de sus esculturas.
31/10/1837	Murcia	Se registro un fuerte terremoto de 8 segundos.
1849	Murcia	El terremoto se produjo tras unas fuertes y abundantes lluvias.
11/11/1855	Guadalentín	Las zonas más perjudicadas fueron Librilla y alhama, debido a una serie de replicas.
21/01/1860	Murcia	Se registra un fuerte temblor de unos 4 segundos.
22/12/1860	Lorca	Fuerte seísmos durante la madrugada.
03/02/1867	La Vega	Una serie de fuertes terremotos en la zona de la vega, acompañados de fuertes sonidos.
03/11/1867	Murcia	Terremoto de 5 segundos, similar al anterior.
06/11/1872	Lorca	Se produce un terremoto, que siembra el pánico, aunque no se producen daños.
16/06/1880	Murcia	Terremoto leve
13/10/1882	Archena	Se registran una serie de terremotos, durante 4 meses, en la zona de Archena, sembrando el pánico en la población y dejando varias construcciones destruidas.
07/11/1882	Murcia	Serie de seísmos de madrugada.
16/01/1883	Murcia	Terremoto de 6 segundos, el cual se deja sentir en varios pueblos alrededor.
12/08/1884	Librilla	Fuerte sismo.
25/01/1886	Murcia	Fuerte temblor
13/06/1886	Murcia	Sismo de media intensidad, de una duración



		de 5 segundo, produciendo un fuerte ruido subterráneo.
05/07/1886	Lorca	Fuerte temblor por la mañana, con varias réplicas.
14/01/1887	La Alberca	Fuerte sismo
27/03/1887	Lorca	Fuerte Sismo
06/10/1888	Sucina	Terremoto de gran intensidad, provoca que los vecinos dejen sus casas y se refugien en el campo.
29/05/1889	Lorca	Seísmo de 2 segundos de duración de poca intensidad.
24/01/1890	Lorca	Leve temblor.
28/08/1890	Lorca	Leve temblor
05/05/1902	Murcia	Pequeño terremoto
06/06/1902	Murcia	Terremoto de 15 segundos de duración, con varias réplicas. Se detectaron pequeños daños en el santuario de la Fuensanta.
30/07/1903	Murcia	Ligero temblor de mañana.
27/09/1908	Abarán	Fuerte terremoto que dejó varias casa de la localidad con grandes grietas.
21/03/1911	Las Torres de Cotillas	Terremoto importante, VII grados Mercalli, destruyendo varias casas.
03/04/1911	Lorquí	Fortísimo terremoto que produjo 22 sacudidas que abrieron la tierra, y dejaron dañadas 233 casas y agrietada la torre de la iglesia. Aunque todo esto no dejó heridos, si hubo que desalojar las escuelas públicas y los objetos de valor de la iglesia.
01/04/1912	Murcia	Temblor leve.
25/04/1912	Lorquí	Temblor que alarma a la población por los acontecimientos del año anterior.
28/01/1917	Las torres de cotillas	Terremoto de fuertes sacudidas, que causaron numerosos destrozos, con epicentro en La Florida.
01/09/1919	Las Torres de Cotillas	Nuevo temblor con epicentro en el barrio de San Pedro.
24/12/1922	Lorca	Violento temblor de 2 segundos de duración de madrugada.
06/02/1925	Murcia	Sismo que alarmo a la población.
24/12/1927	Totana	Intenso seísmo, que sacó a las calles a los vecinos de la localidad
01/01/1930	Murcia	Leve seísmo.

El terremoto de mas importante ocurrido recientemente en la Región, tuvo lugar en La Paca – Aviles – Zarcilla de Ramos en 2005, Que causo daños de importancia en las estructuras de la zona y numerosas replicas de gran intensidad.

Situación geológica.

El término municipal de Lorca está localizado en el sector oriental Cordillera Bética, que constituye la parte más al oeste del cinturón orogénico Alpino. Esta cordillera se ha creado por una serie de colisiones y separaciones de las placas euroasiática y africana a largo de millones de años.



Falla de Alhama de Murcia (1957)

Las colisiones entre las placas deformaron la corteza y ensacharon por las enormes láminas de roca superpuesta apiladas, también tuvo lugar procesos térmicos, que produjeron rocas metamórficas a lo largo de toda la cordillera. El paisaje actual está relacionado con la actividad numerosas fallas que mueven arriba y abajo bloques de la corteza.

Análisis de la situación sismo-tectónica de Lorca y evaluación del origen geológico del terremoto

El 11 de Mayo de 2011 a las 15:05 en Lorca, tuvo lugar un seísmo de magnitud MW 4.5. Después de este primer Terremoto se producen una serie de pequeñas réplicas de poca intensidad, para llegar a las 16:47 que se produce un seísmo de MW 5.1. A lo largo de los días hasta el 17 de Mayo, hubo 103 réplicas de intensidad inferior.

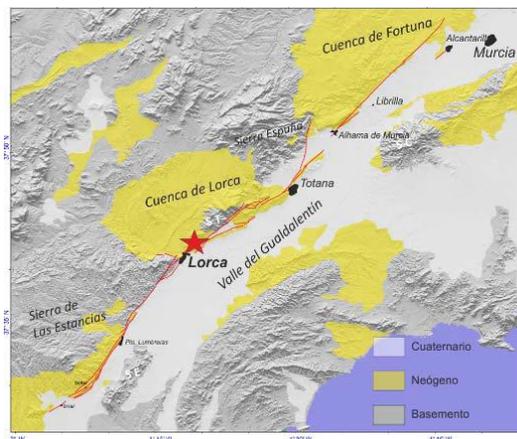
Los seísmos más importantes están ubicados muy próximos entre ellos, prácticamente encima de la trazada de la rama norte de la Falla De Alhama de Murcia (FAM). Pero, por otro lado, la mayoría de las réplicas se localizan hacia la parte sureste de esta zona. Este cambio de ubicación puede deberse a distintas cosas:

- Un error del sistema de la localización, se podría solucionar con un proceso de reubicación y con un sistema de sensores de carácter auxiliar para poder localizar de una manera más exacta futuras réplicas.
- A los daños producidos por los principales terremotos, no fueran causa de la FAM sino de otra falla de dirección NO-SE y por esto, la continuación hacia el sur de esta estructura de esta falla, pudiera haber sido la causa real de las réplicas.
- La ausencia de réplicas en la falla, como la ubicación de estas fuera de una zona de aumento de esfuerzos estáticos de Coulomb.

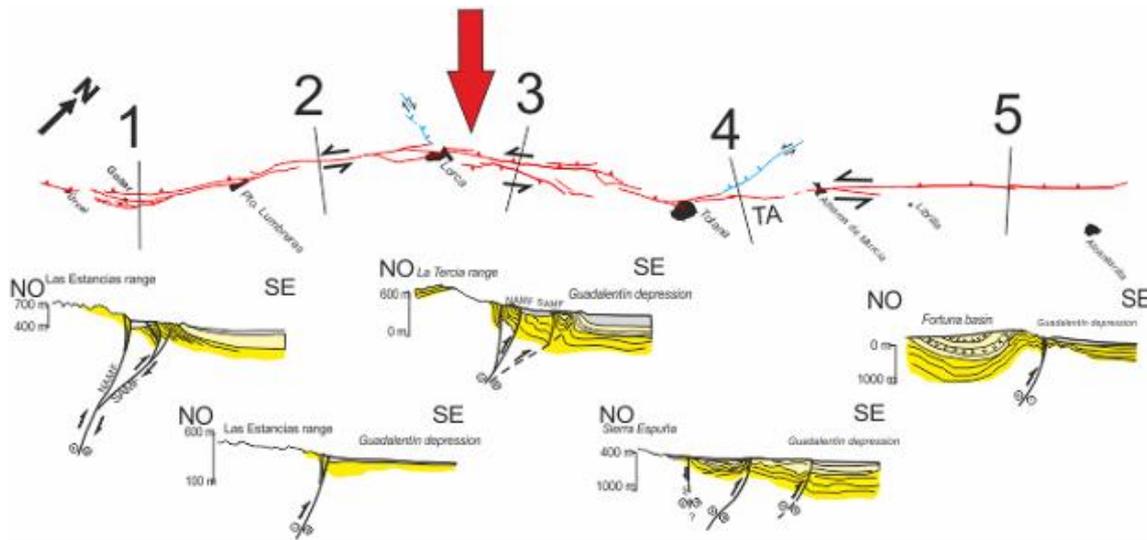
Análisis de la falla de Alhama de Murcia

La localización de los dos epicentros principales de los terremotos se encuentra sobre la trazada de la Falla de Alhama de Murcia (FAM) a dos kilómetros al noroeste de Lorca. La Falla de Alhama de Murcia ha sido objeto de diversos estudios de carácter estructural, neotectónico, sismotectónico y paleosísmico. En cada uno de ellos se ha especial énfasis su alta actividad y potencia sismogénico.

La Falla es de desgarre sinistral con una componente inversa que cambia entre todos los segmentos a lo largo de esta, se reparte a lo largo del lado noroeste de la depresión del Guadalentín, desde Alcantarilla hasta cerca de Góñar en Almería, con una extensión total de 85 Km. La falla se divide en numerosos tramos con direcciones distintas y estructura interna de la zona de cizalla que presenta una complejidad variable.



Cartografía del trazado de la FAM. La estrella ubica el epicentro del terremoto de magnitud Mw 5.1.



La figura de arriba se presenta la estructura por partes de la Falla de Alhama de Murcia del estudio de Martínez-Díaz et al. (2010). El indicador rojo señala el epicentro del seísmo de 5.1 que se ubica al final de CO del segmento Lorca-Totana. la parte de abajo de la foto muestra un esquema de la estructura de la falla más detallada, según los datos geológicos recogidos en superficie.

Puntualizando más, los dos terremotos de más importancia tienen sus epicentros en la parte de la FAM donde las estructuras son más complejas, con dos buzamientos opuestos en superficie (El Corredor Norte de Lorca con buzamiento al norte, y el Corredor Sur de Lorca con buzamiento al sur). Los epicentros se localizarían en cualquiera de las ramas (según las elipses de error calculadas por el Instituto Geográfico Nacional), aunque tiene más posibilidades de que su ubicación esté relacionada con el corredor Norte.

El corredor Norte está constituido por una estructura de dúplex de desgarre compresivo, constituida por dos ramas paralelas próximas a la superficie y sus trazados discurren, uno debajo de la ciudad de Lorca y otro por el lado noroeste del monte del Castillo de Lorca. La forma que está estructurada la falla es muy compleja a su paso por Lorca, sufre un ligero cambio de dirección en su trazada y se especula que puede haber algunas ramas activas de la falla en el casco urbano.

La geometría y cinemática que presenta uno de los dos planos de los dos mecanismos focales (plano NE-SO con buzamiento alto al NO) tiene una clara coincidencia con las dos fallas que forman el dúplex, descrito en párrafos anteriores, también tienen un movimiento de composición inversa de desgarre sinistral, aparte es coherente con los demás mecanismos.



dirección Lorca formando un dúo de desgarre, se fundamentan en una masa de rocas metamórficas levantadas por un régimen transgresivo y rodeadas por rocas sedimentarias miocenas. Se han marcado varios puntos de referencia en de la ciudad, para futuros estudios.

Aunque todos los estudios muestran claramente a la FAM como responsable de los terremotos más importantes, las réplicas están situadas en el valle del Guadalentín, lo cual hace la interpretación sea dudosa. Se pueden hacer varias interpretaciones las cuales enumeramos a continuación:

- Posible vuelta a la actividad de fallas de carácter menor en el interior del valle del Guadalentín.
- Error de localización por el bajo nivel de las réplicas.
- La falla NO-SE sea la verdadera responsable (no es muy probable, debido al gran numero de observaciones)

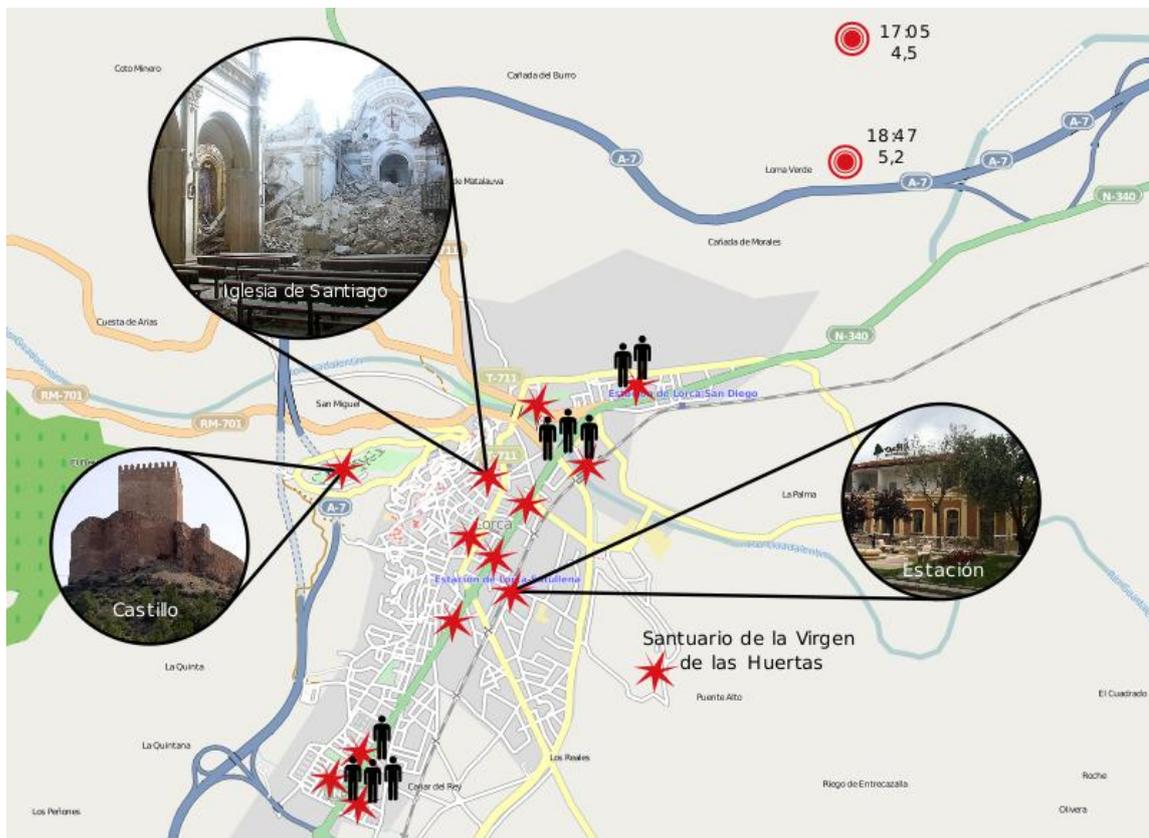
Aunque se ha estudiado mucho, se debe de volver a localizar las réplicas y hacer un buen ajuste de la ubicación de los epicentros e Hipocentros de los terremotos principales para saber con exactitud las causas de los eventos.

1.2. Inventario y situación de los daños detectados

Daños personales

El terremoto del 11 de mayo de 2011 fue de los más graves a efectos personales en España en los últimos años, dejando una serie de daños que se van a describir a continuación. El terremoto provocó nueve víctimas mortales, entre las cuales dos embarazadas y un niño de catorce años, y más de trescientos heridos.

La mayoría de las víctimas fueron causa de los desprendimientos o fenómenos secundarios relacionados con elementos no estructurales como alfeizares, antepechos, soleras y revestimientos que cayeron a las personas que se encontraban en la calle durante los hechos.





Estadísticas de daños a edificios

Triaje técnico de edificios

El estudio de los edificios dañados se clasifico de la siguiente manera:

- **La clasificación verde:** utilización segura, la estructura y el edificio pueden tener pequeños daños como grietas, fisuras o pequeños desprendimientos.
- **La clasificación amarilla:** el edificio esta dañado y el acceso está limitado hasta solventar el riesgo de la estructura.
- **La clasificación roja:** el edificio tiene la estructura dañada y debe prohibirse el acceso al inmueble.

En este estudio solamente se han reconocido los edificios con clasificación amarilla o roja, siendo los demás de calificación verde, es posible que estos edificios pudieran tener pequeños daños, pero este estudio no tiene la profundidad para poder identificar todos aquellos edificios con daños de escasa entidad.

Datos por distritos de los daños

Analizando la tabla y situando los distritos en el mapa:

El área municipal tiene un total de 5155 edificios, de los cuales 889 de ellos (el 13% del total) han clasificado con un daño amarillo o rojo

El barrio de la Viña es la zona más llamativa, con los distritos censales número 1013 y 1024, tienen los mayores porcentajes de edificios dañados (del 41% y el 40%) con respecto al resto de distritos.

El casco histórico, número censal 1004, tiene los daños amarillos o rojos en un 16% de los edificios.

El barrio que rodea de la avenida de las fuerzas armadas, en el distrito 1027, tiene daños en el 40% de los edificios.

El mapa de daños ha comparado con las características del suelo del municipio de Lorca, hecho en el proyecto Sismozon, en el cual se especifican los 4 tipos de suelos blandos denominados IA; IB II y III. El estudio de la coincidencia de daños con la totalidad

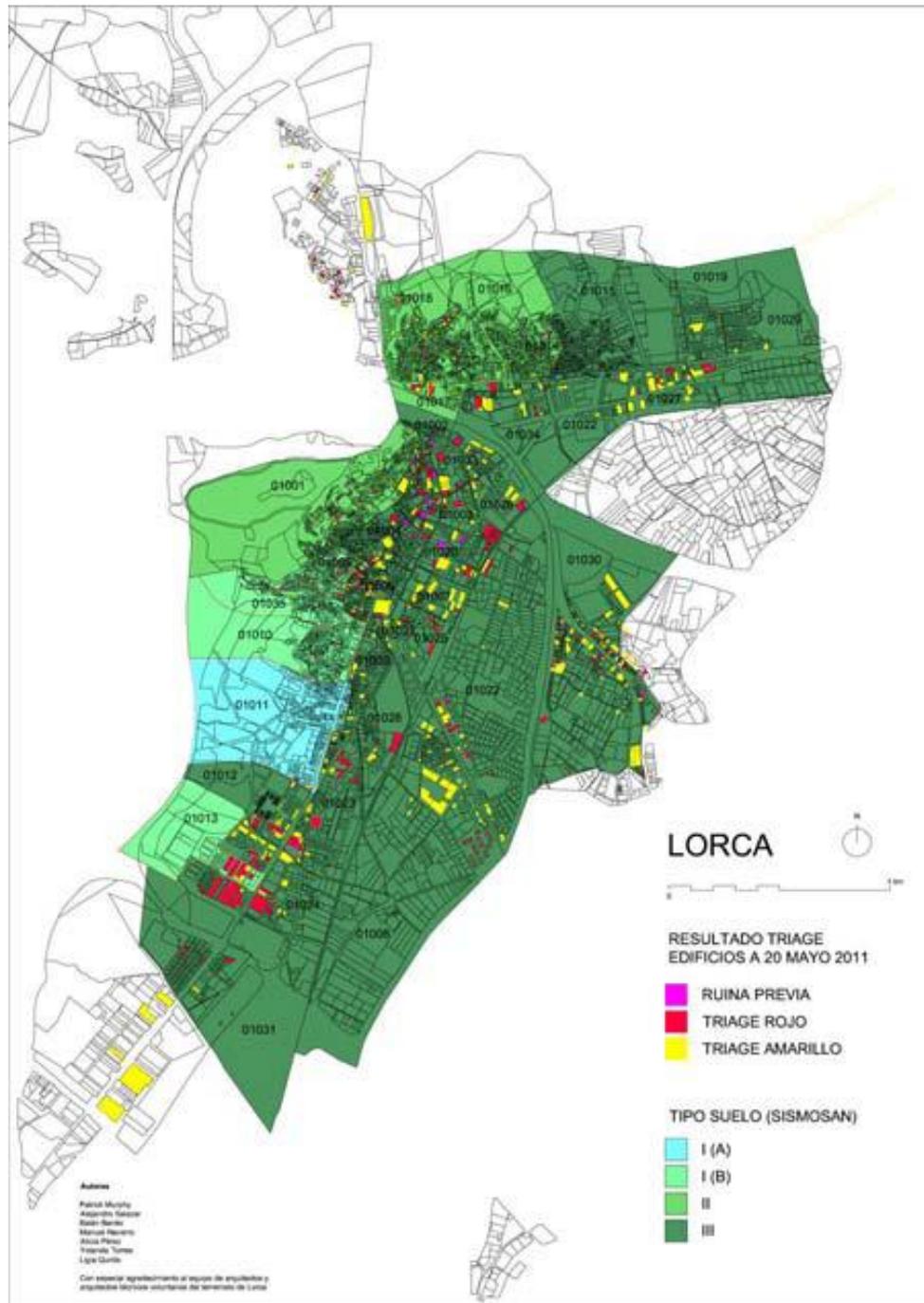


de los edificios por cada clase de suelo, hace patente que hay un aumento de daños en el suelo clase III, coincidiendo con los depósitos sedimentarios del Guadalentín, todo esto se refleja en la tabla 1

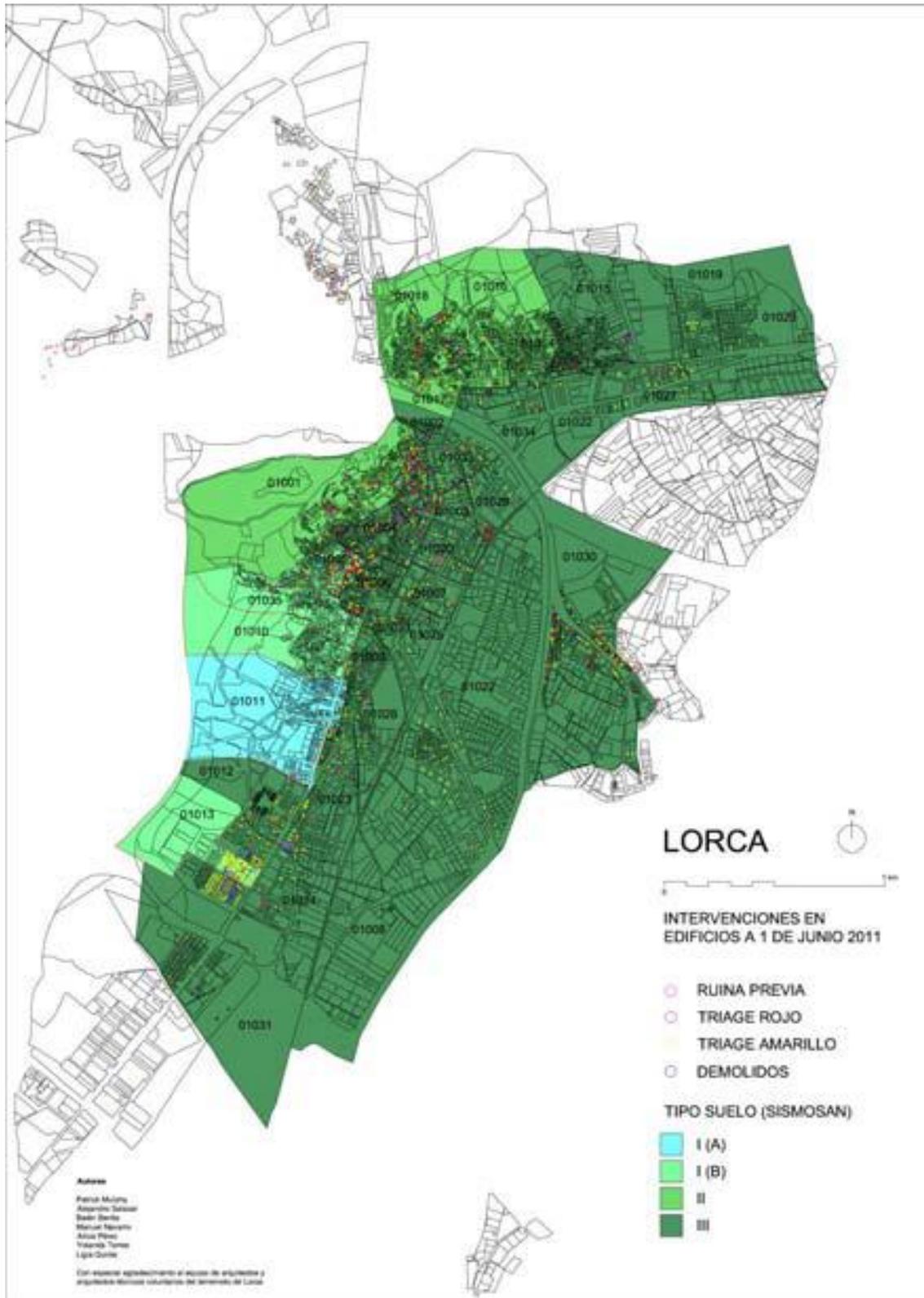
Distrito censal	Triage		Edificios Demolidos	Tipo de suelo	Total Dañados	Nº edif. Tradicionales	Nº Edif. Tecnológicos	Total Edificios	% daños sobre total
	Amarillo	Rojo							
1001	28	26	1	55	II	527	57	584	9,4
1002	33	29		62	III	164	56	220	28,2
1003	9	6	1	16	III	25	37	62	25,8
1004	21	19		40	III	201	48	249	16,1
1005	22	29		51	IB	304	48	352	14,5
1006	38	21		59	III	161	83	244	24,2
1007	14	5		19	III	17	28	45	42,2
1008	28	10		38	III	93	43	136	27,9
1009	12	3		15	III	67	76	143	10,5
1010	2	3	1	6	IB	333	57	390	1,5
1011	13	10	1	24	IA	228	141	369	6,5
1012	35	9	1	45	III	177	31	208	21,6
1013	14	3	2	19	IB Y III	21	25	46	41,3
1014	0	1		1	II	318	26	344	0,3
1015	1	7		8	III	376	34	410	2,0
1016	5	3		8	II	315	46	361	2,2
1017	21	6		27	II	275	50	325	8,3
1018	21	14	1	36	II	365	34	399	9,0
1019	8	0		8	III	19	56	75	10,7
1020	10	1		11	III	25	26	51	21,6
1021	8			8	III	6	26	32	25,0
1022	18	5		23	III	129	73	202	11,4
1023	14	13		27	III	45	71	116	23,3
1024	22	8	3	33	III	31	50	81	40,7
1025	3	5		8	III	14	24	38	21,1
1026	7	6		13	III	25	32	57	22,8
1027	17	11		28	III	20	50	70	40,0
1028	4	4		8	III	38	23	61	13,1
1029	5	5		10	III	28	23	51	19,6
1030	70	32	1	103	III	277	57	334	30,3
1031	14	7	1	22	III	177	38	215	10,2
1032	4	2		6	III	42	32	74	8,1
1033	12	10		22	III	44	27	71	31,0
1034	9	4		13	III	50	33	83	15,7
1035	8	9		17	IB	218	46	264	6,4
total	550	326	13	889		5155	1607	6762	13,1

Tabla 1. Daños en edificios de Lorca por distrito censal (IGN)

Tipo de suelo	Total de edificios	Total dañados	% sobre daños total
IA	369	24	6,5
IB	1006	74	7,4
II	2013	127	6,3
III	3374	664	19,7



Daños en Lorca destacando los edificios amarillos (daños moderados) y rojos (daños graves) por distrito censal y clase de suelo (datos del 20 de mayo). Se indican también aquellos edificios que ya se hallaban en ruina antes del sismo. El parque inmobiliario del área censal estudiado en este trabajo es de 5155 edificios.



Daños en Lorca indicando edificios amarillos (daños moderados) y rojos (daños graves) por distrito censal y clase de suelo (datos del 1 de junio). Se indican las demoliciones (19 edificios) Realizadas después del sismo.



1.3. Principales causas de la problemática sísmica en Lorca

En este trabajo debemos de distinguir entre dos tipos de construcciones diferentes, pues hacer un análisis depende de esto, debido a que las causas y los problemas pueden ser muy distintos de uno a otro. Distinguimos entre edificios actuales y tradicionales.

Daños en edificios actuales de viviendas (Edificación tecnológica)

Características de la edificación tecnológica

Los edificios construidos en Lorca, en su mayoría, constan de una estructura de pilares y forjados de hormigón armado. En estos edificios las plantas superiores se suelen dedicar a viviendas y las plantas bajas a actividades comerciales o al sector servicios normalmente.

Este tipo de construcciones suele llevar consigo una serie de errores que hacen que la resistencia sísmica disminuya, por lo cual, puede causar daños importantes o incluso el colapso de los edificios. Los errores a tener en cuenta son los siguientes:

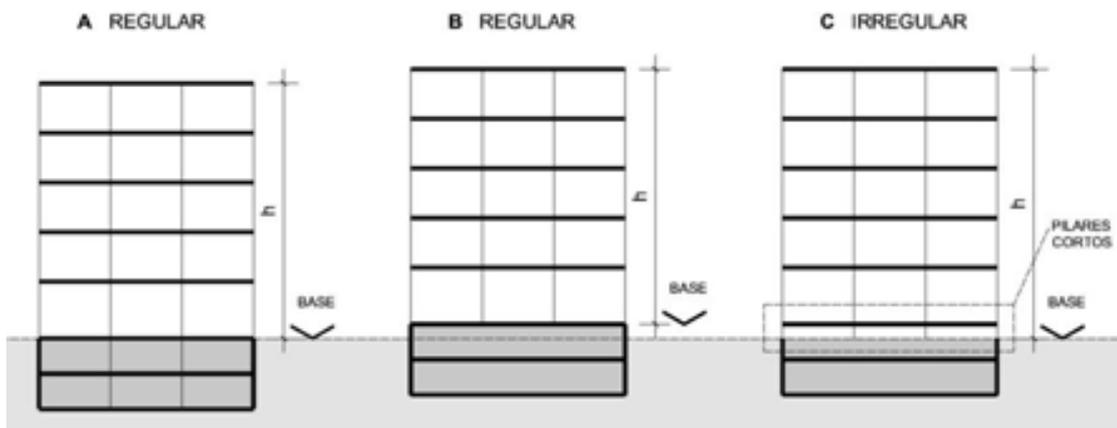
- Pilares cortos.
- Plantas Blandas o Plantas bajas diáfnas.
- Pilares secuestrados.
- Juntas entre edificios.
- Prestaciones sismo-resistentes.
- Torsión.

Pilares cortos

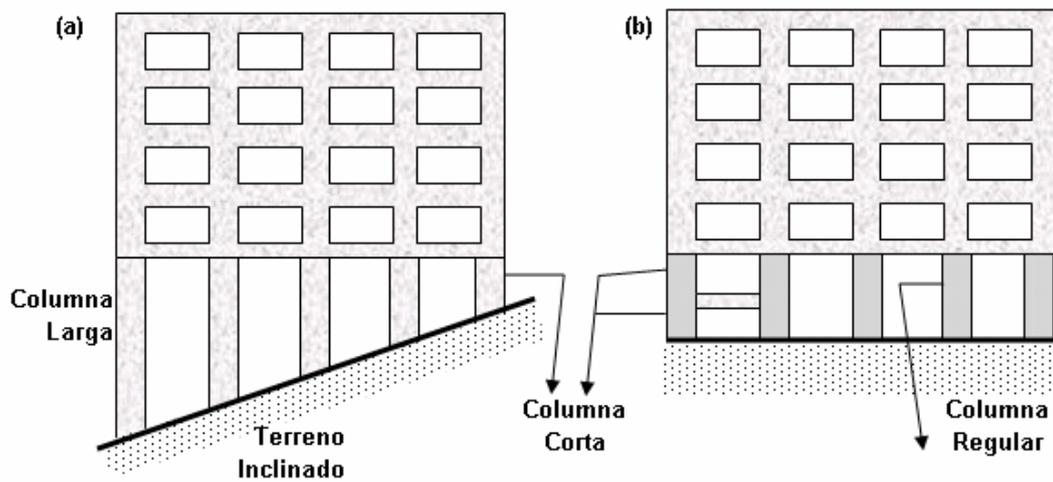
Un seísmo ejerce unas fuerzas que actúan de forma dinámica sobre la parte oscilante de la estructura del edificio, por lo que se tiene en cuenta la base del edificio como el plano de rasante de donde el edificio emerge del terreno. Normalmente esto coincide con la planta baja si está al nivel del terreno.

En los casos en que la planta baja este por encima de la rasante del terreno, se consideraría como la base oscilante cuando esté totalmente rigidizado. Por ejemplo, si los muros del sótano emergen a la superficie, hasta el forjado de la planta baja.

Cuando la planta baja se eleva sobre el terreno, se suelen crear pilares cortos, por lo cual un edificio adquiere una irregularidad de rigidez en altura.



Formación de pilares cortos y su relación con la base oscilante de la estructura del edificio.



Ejemplos

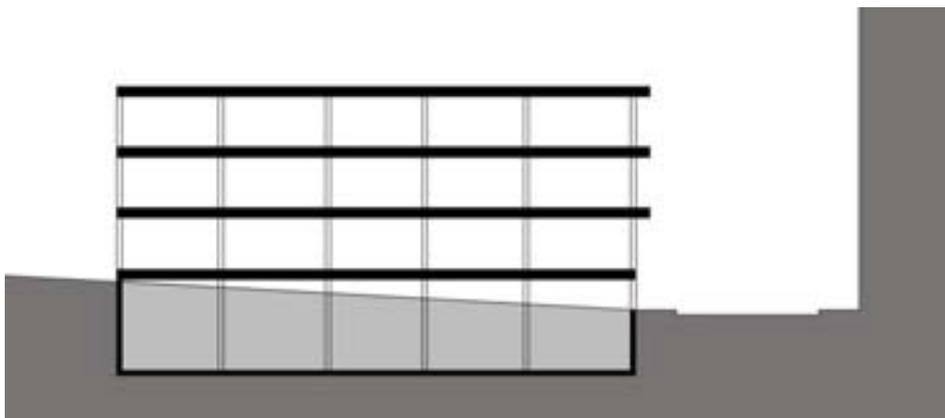




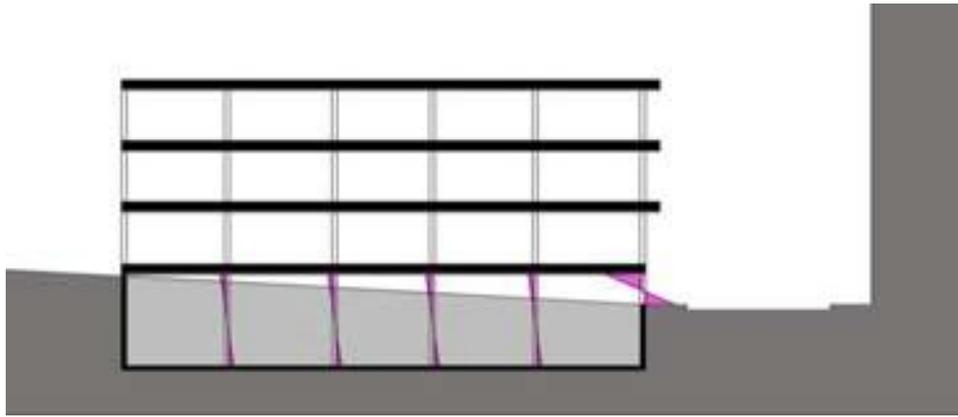
Dos tipos de pilares cortos dañados en edificios de Lorca. figura 1

El caso de la Calle Infante Juan Manuel nº 5, que colapsó completamente (figura 1), un edificio de viviendas de pórticos de Hormigón Armado de tres alturas. El edificio tenía la planta baja elevada con respecto a la rasante de la calle y pilares cortos en dos pórticos del perímetro del edificio.

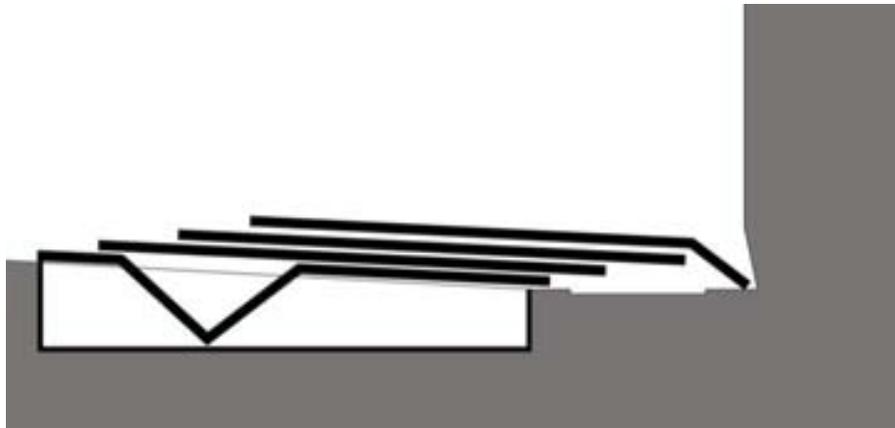
Un edificio colindante idéntico, de la misma promoción, tiene deformaciones e importantes daños en los pilares cortos, demostrando que el colapso se debe al error constructivo de los pilares cortos en el perímetro.



Esquema del edificio en calle Infante Juan Manuel, con pilares cortos en los pórticos del perímetro.



Esquema de esfuerzos cortantes bajo la acción de las fuerzas sísmicas, los pilares cortos del pórtico del perímetro la mayoría parte de las cargas sísmicas, debido a su gran rigidez en comparación a los demás de pilares de la planta.



El error de los pilares cortos provoca el colapso de la estructura, dañando a los edificios colindantes.



Foto real del edificio colapsado en Calle Infante Juan Manuel.



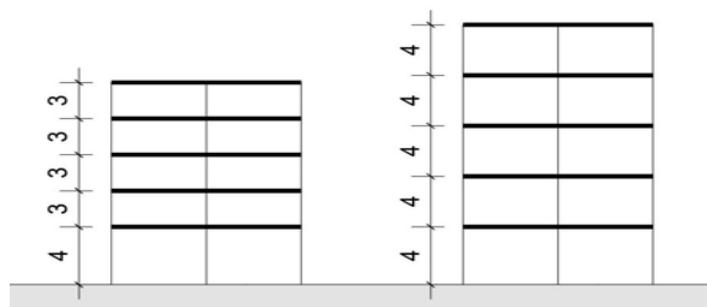
Detalle de la unión entre pilar-forjado del edificio colapsado.

Plantas Blandas o Plantas bajas diáfanas

Este tipo de estructuras se caracteriza por tener la planta baja con una altura mayor que el resto. Por lo general, estas plantas bajas no provocan el colapso de la estructura, pero si provocan que los movimientos horizontales sean más importantes que causan graves daños en los cerramientos del edificio. Este error constructivo está regulado en la normativa ASCE-7 y en Eurocódigo 8. En la NCSE02 los edificios irregulares no se pueden calcular con el método de cálculo sencillo de fuerzas estáticas equivalentes.

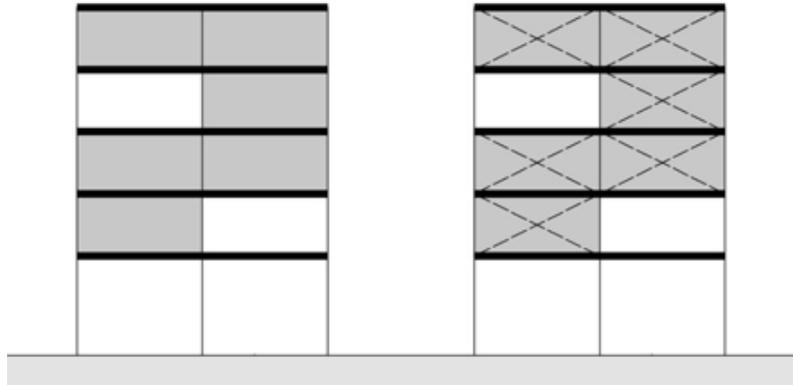
El plan general de ordenación urbana de Lorca fomenta las plantas blandas, pues los locales de planta baja deben de tener alturas libres mínimas superiores a las de plantas de viviendas. (3m locales comerciales; 3,2m locales hostelería y 2,5m viviendas).

El edificio irregular (izquierda) tiene una planta baja débil por el cambio de altura y rigidez con las plantas superiores, y el edificio regular (derecha) todas las plantas tienen la misma altura y rigidez



Los elementos no estructurales de los edificios son los cerramientos y particiones, pero durante un terremoto estos elementos adquieren una función de carácter estructural, pues cuando tienen mayor rigidez que la estructura principal, el comportamiento de esta es condicionado por la respuesta de estos elementos.

Los pórticos ganan rigidez con efecto de una cruz o con un tirante de rigidización. Debido a esto la disposición irregular de cerramientos y particiones de albañilería se consideran en el ASCE 7 y EC8 una irregularidad estructural en altura.



Los muros no estructurales de albañilería tienen la función de dar rigidez al conjunto, pues evitan la deformación de la estructura. Cuando los cerramientos no son regulares en su reparto por la estructura, esto provoca una irregularidad en la rigidez en altura. La participación de los cerramientos se puede optimizar, como un tirante que rigidice el pórtico, y así equilibra la estructura.

Es muy común que se encuentran simultáneamente ambos casos, la creación de una planta baja totalmente abierta o una planta baja esbelta con irregularidades en la compartimentación de los cerramientos, como podemos ver en esta figura 2 (Una planta esbelta cerrada actuando con una planta baja abierta para producir inestabilidad)

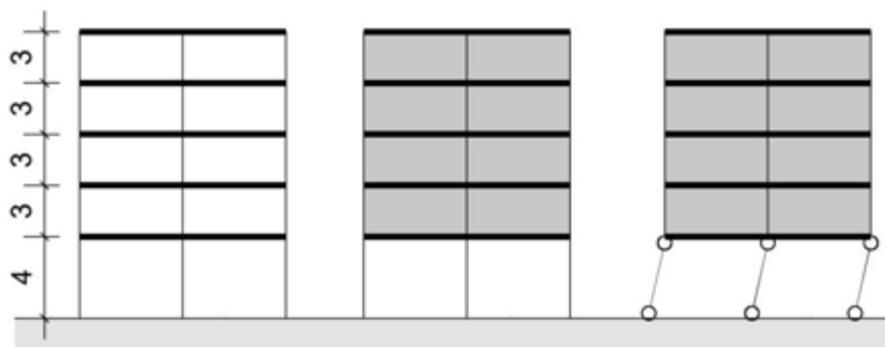


Figura 2.

Las siguientes fotografías de edificios con daños donde podemos observar las consecuencias de los conceptos descritos en los párrafos anteriores.



Daños en los cerramientos de las plantas bajas de un edificio con locales comerciales de gran esbeltez (izquierda) y en el hospital Rafael Méndez. (Derecha).

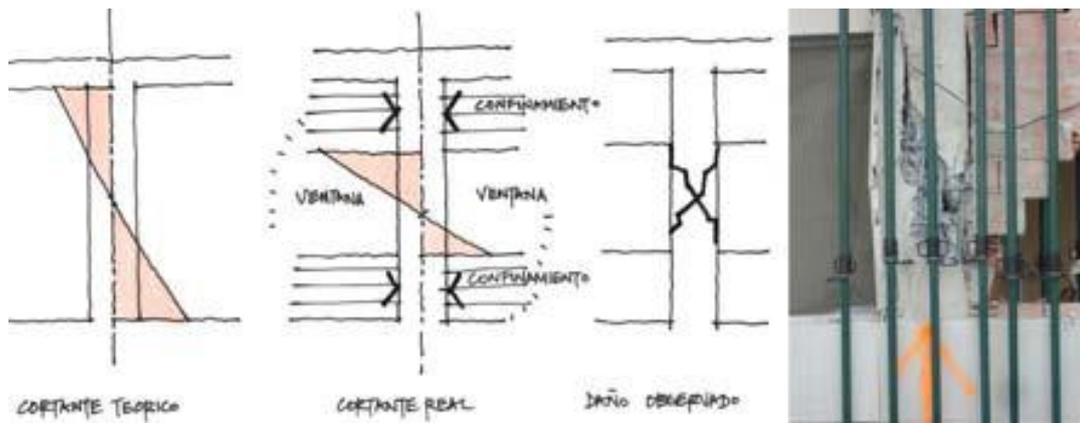


Daños en el cerramiento no estructural de la planta baja de un edificio. El cerramiento ha resistido los esfuerzos horizontales de la estructura, pero ha fallado por cortante (grietas en forma de cruz de San Andres.)



Pilares secuestrados

Es de los casos más comunes en muchos edificios, importantes daños en la estructura de hormigón armado por la interacción con elementos no estructurales que dan rigidez a la estructura. Un ejemplo típico, es la colocación de dos ventanas a ambos lados de un pilar.

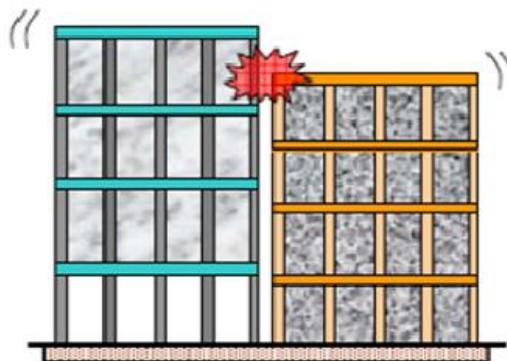


Pilar secuestrado por estar encerrado por tabiques de un edificio de Lorca.

Esto provoca en daño por cortante en cabezas de pilares en plantas bajas, esto es un mecanismo inestable que da lugar a un daño de gran peligrosidad para la estructura.

Juntas entre edificios.

La norma NCSE02 pone en manifiesto que los edificios colindantes deben estar a una distancia que sea igual al desplazamiento máximo calculado y así evitar el choque entre ellos. La norma actual vigente tiene el problema de no limitar el desplazamiento máximo, sea edificio colindante a otros o no.



Cuando se proyecta un edificio en planta se tiene en cuenta principalmente el aprovechamiento urbanístico, dejando para otra fase el cálculo estructural, lo cual implica

que sea difícil de cumplir las distancias de retranqueo. Todo esto es debido a que toda obra debe de ser favorable para inversores y promotores.

Los edificios de Lorca son claro ejemplo de este caso, en ellos se pueden ver gran cantidad de daños por el choque de edificios colindantes.



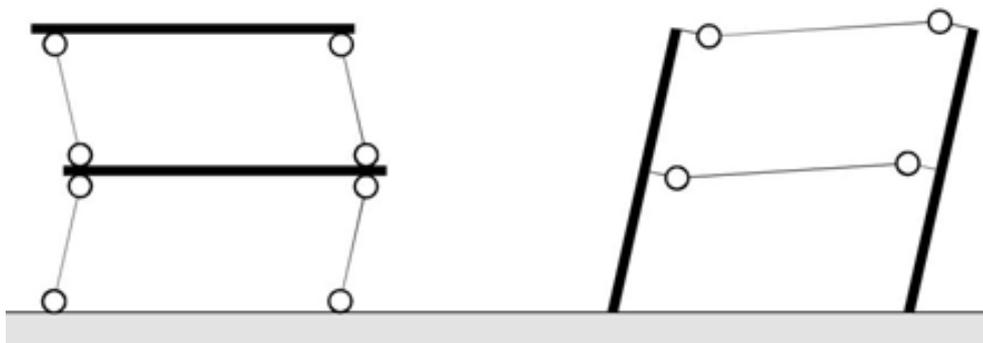
Los daños están concentrados en la tercera planta y son causados por la diferencia de altura entre los edificios colindantes. Los edificios altos se han desplazado mucho, esto se puede ver en los daños de los impactos causados por los edificios de la imagen de la derecha.



Daños por el choque de dos edificios de altura en Lorca.

Prestaciones sismo-resistentes

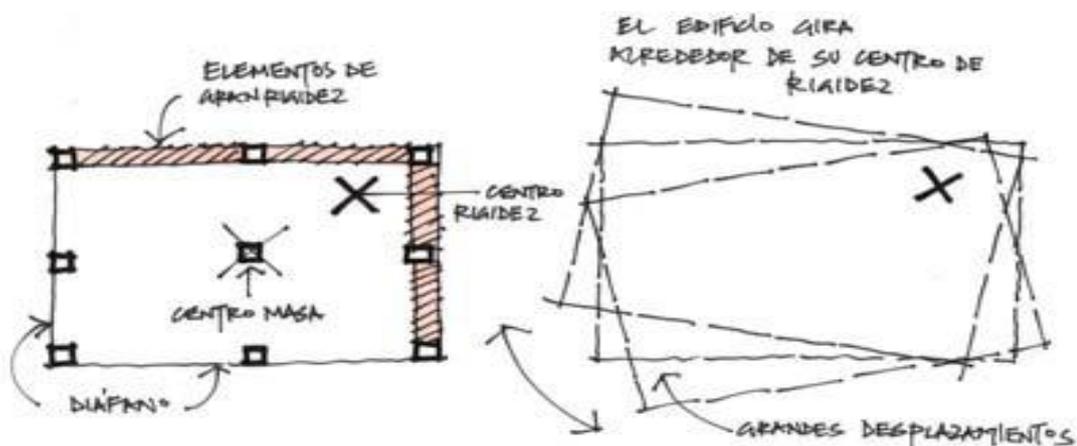
Los casos como losa masiva y pilar débil no son específicamente estipulados como sismo-resistente, aunque si se encuentran registrados en países con zonas de alto riesgo sísmico, como en EEUU. (ASCE-7). Actualmente se encuentran dentro de un gran debate. Esto se debe a que combinar un pilar débil y forjado masivo facilita la creación de mecanismos que provocan inestabilidad en planta, haciendo todo lo contrario a los objetivos que persiguen las NNSS. En la figura 3 se muestra la diferencia entre un mecanismo inestable e estable:



Mecanismo inestable (izquierda) y estable (derecha). figura 3

Torsión

La colocación de elementos rígidos de forma irregular puede provocar que el edificio rote sobre su eje vertical, lo cual se define como torsión. Los edificios diseñados en forma de esquina son los más proclives a la torsión, puesto que sus medianeras se cierran y rigidizan en toda su altura, por el contrario las esquinas de los alzados exteriores están libres y diáfanos.



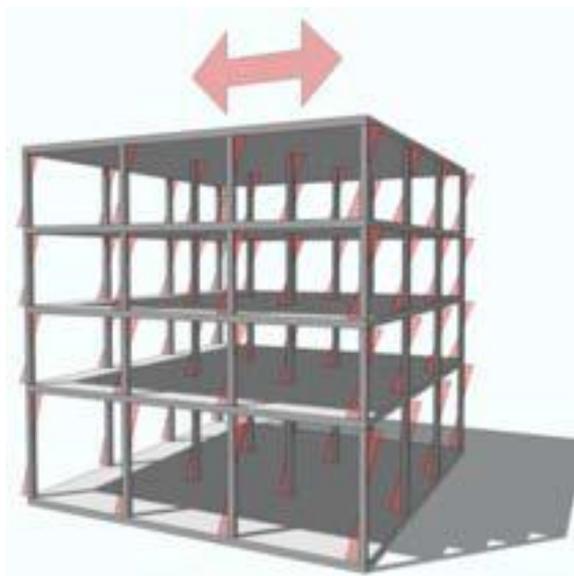
Torsión por el efecto de rigidez de un edificio de esquina con muros medianeros.



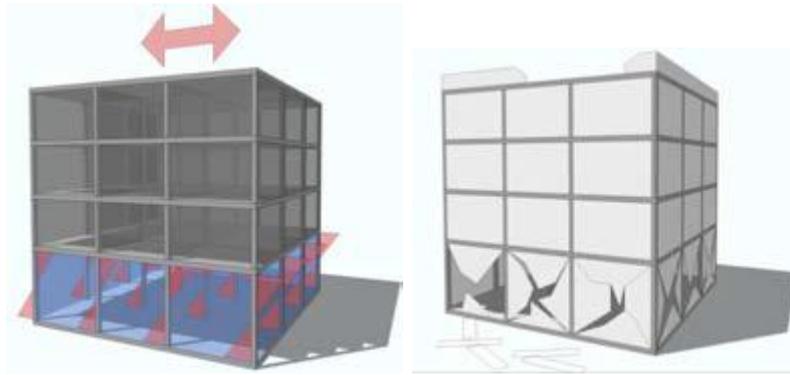
Torsión por el efecto de rigidización de un edificio de esquina con los muros medianeros con grandes deformaciones permanentes en el pilar de la esquina más alejada del centro de rotación.

Modelización de tipos de edificio y daños.

El tipo de edificio y los daños registrados en la mayoría de casos estudiados se puede sintetizar en una secuencia de modelos ilustrados en las siguientes figuras.



El edificio consta de una planta baja comercial y plantas para viviendas u oficinas en altura, muy común en las ciudades y pueblos hoy en día. Bajo acción de las fuerzas sísmicas suponemos que se reparten de manera uniforme por toda por toda la estructura del edificio.



Pero en la realidad cuando consideramos la acción de rigidez de los cerramientos por los tabiques y muros en las plantas superiores y la planta baja abierta, la deformación es diferente, haciendo que la planta baja tenga que soportar a grandes desplazamientos horizontales en comparación con las plantas superiores.

Elementos no estructurales

Cerramientos

Los cerramientos de albañilería se consideran elementos no estructurales pero es evidente que proporcionan rigidez y soportan una serie de cargas cuando el sismo pretende deformar la estructura. Los cortantes muestran los fallos en forma de aspa o cruz verificando las causas de este proceso.



A la izquierda, grietas provocadas por los cortantes en forma de aspa, en el cerramiento y fachadas de un edificio público moderno. A la derecha el cortante aparece en forma de aspas en el hospital Rafael Méndez.



Parapetos y antepechos

La principal causa de las víctimas durante el terremoto fue la caída de elementos no estructurales. Muchos antepechos y parapetos de fábrica de ladrillo de los edificios cayeron a la calle o exteriores provocando cuantiosos daños en automóviles y mobiliario urbano, e incluso llegando a matar a personas.

La normativa vigente dice que debe de cumplir con un confinamiento en los antepechos con enzunchados de hormigón a partir de una peligrosidad de 0.12g. Con esto se puede decir que todos los edificios construidos en Lorca desde 2004 cumplirían este requisito. En la anterior norma, vigente desde 1996 y hasta 2004, este requisito sólo debía de cumplirse en las zonas donde la peligrosidad fuera superior a 0,16g. Con lo cual, los edificios construidos antes de 2004 fueron los principales causantes de todos los daños.



Desprendimiento de un parapeto de hormigón sin armadura

Otros efectos



Torres de iglesia nuevas y viejas dañadas por el terremoto

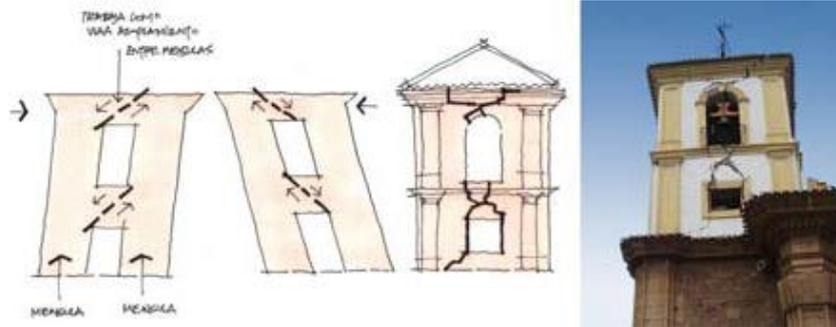


Rotación y giro del obelisco de la Carrera y giro de pináculos de la colegiata de San Patricio.

Daños observados en la edificación tradicional y patrimonio.

Los daños en los edificios de estructura de muros de carga bajo la acción sísmica, siguen un patrón reconocido y muy estudiado en zonas con problemas sísmicos parecidos.

Los planos de muros sometidos a esfuerzos cortantes los daños se manifiestan en forma de fisuras característica de aspa o X, mientras fuera del plano, las estructuras con muros de carga sufren la deriva y pérdida de conexión con los muros de arriostramiento perpendicular.



Daños por cortante en forma de aspa en la torre de la iglesia de Santiago.



Daños por cortante en forma de aspa en la torre de la iglesia del paso azul.



Deriva de muro de carga en torre medieval de la muralla

En los edificios patrimoniales más afectados son las iglesias, pues son el tipo de monumentos más sensibles a las acciones sísmicas. De todas las iglesias más importantes del centro de Lorca, solo 2 de las 13 que hay estaban en condiciones de dar acceso al público.

Los daños más comunes en los diferentes monumentos de Lorca son rotura o colapso de cúpulas, torres o campanarios, agrietamiento y desplazamiento de arcos, pilares, contrafuertes, además de agrietamiento o colapso de muros.

Iglesia de santo domingo

Después del seísmo tenía grietas en sus torres y fachadas, además en el interior también se observaban grietas, aunque no eran daños de mucha importancia en general para la estructura del edificio.



Capilla de Nuestra Señora del Rosario

Esta capilla sufrió un importante agrietamiento en su estructura y el desplazamiento de su cúpula, teniendo que ser completamente apuntalada, para estabilizarla y evitar mayores deformaciones que llevaran al colapso de la cúpula.



Iglesia de Santiago

La iglesia ha quedado casi destruida después del terremoto. Entre los escombros se identificaron del colapso del crucero y de la cúpula. El resto de elementos que quedaron en pie prácticamente esta inutilizados.



Iglesia de San Francisco

Esta iglesia presenta grietas en su fachada, además se tuvo que apuntalar la torre y su cúpula por riesgo de derrumbe.



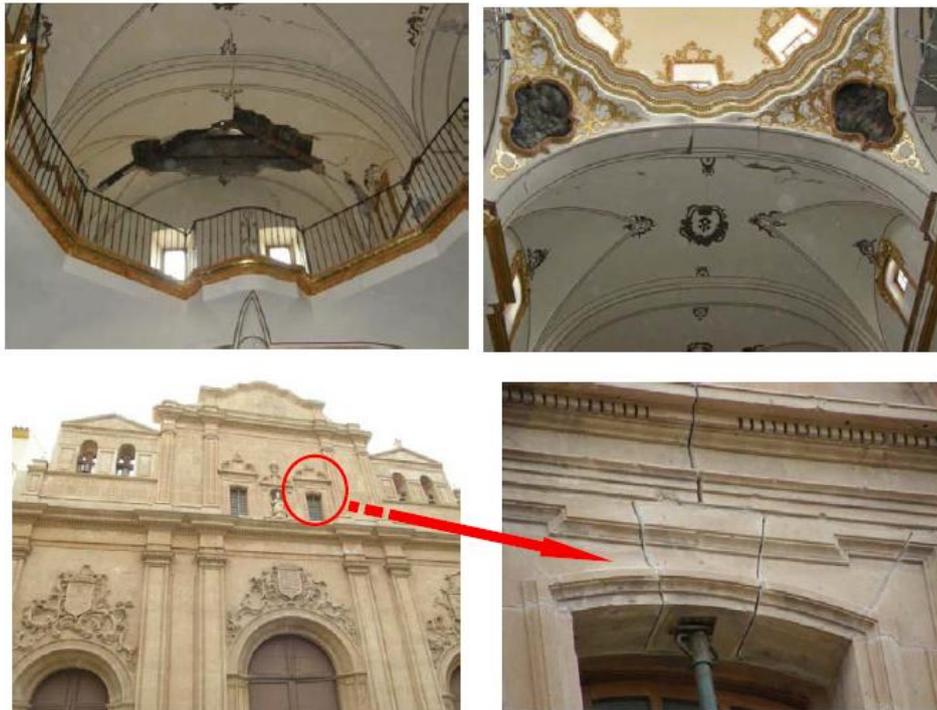
Colegiata de San Patricio

Este monumento presenta desplazamientos en uno de sus pilares y algunos de los arcos de los contrafuertes, además de algunas grietas en su fachada. Se tuvo que retirar todos los elementos de piedra por riesgo de caída.



Iglesia del Carmen

Esta iglesia quedó inutilizada y con gran riesgo de derrumbe. Presenta daños importantes en los arcos situados debajo de la cúpula levantada sobre un anillo ondulado, además los hay daños en la fachada en el vano central y en la clave de las ventanas bajo el frontón curvilíneo que remata la fachada.



Palacio de Guevara

Durante el seísmo, el palacio sufrió un gran agrietamiento de sus paredes, teniendo que apuntalar el dintel de la entrada principal, los arcos de las ventanas superiores, del patio interior, la escalera y los muros laterales.



Museo arqueológico municipal

Este edificio presentaba daños en los objetos y vitrinas debido al desprendimiento de las mismas vitrinas, además detectaron daños en la tabiquería y en la caja de la escalera, ubicadas en la nueva zona ampliada que fue también apuntalada.

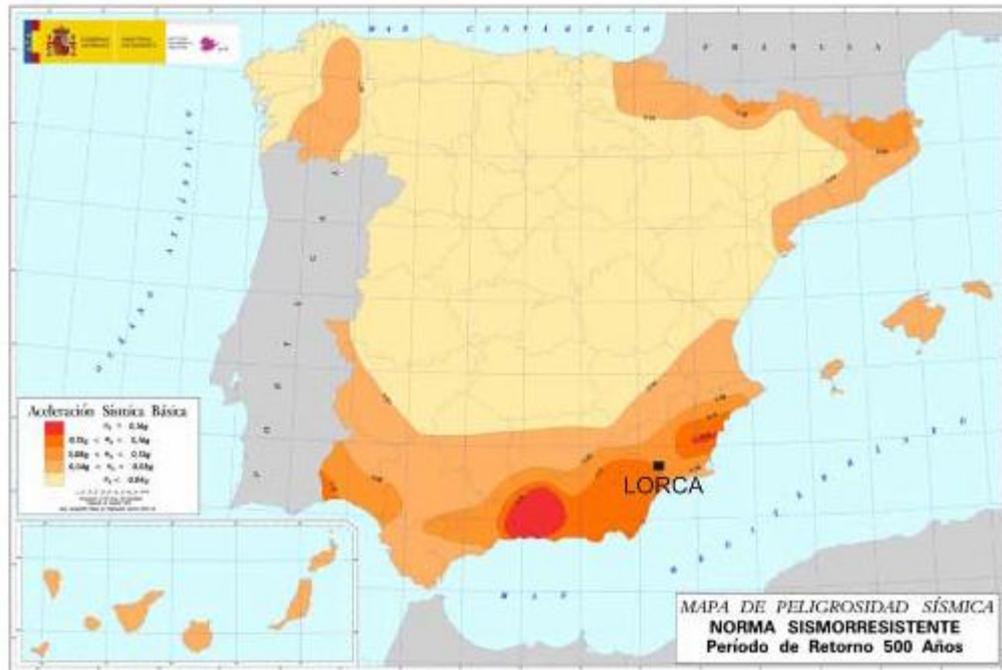




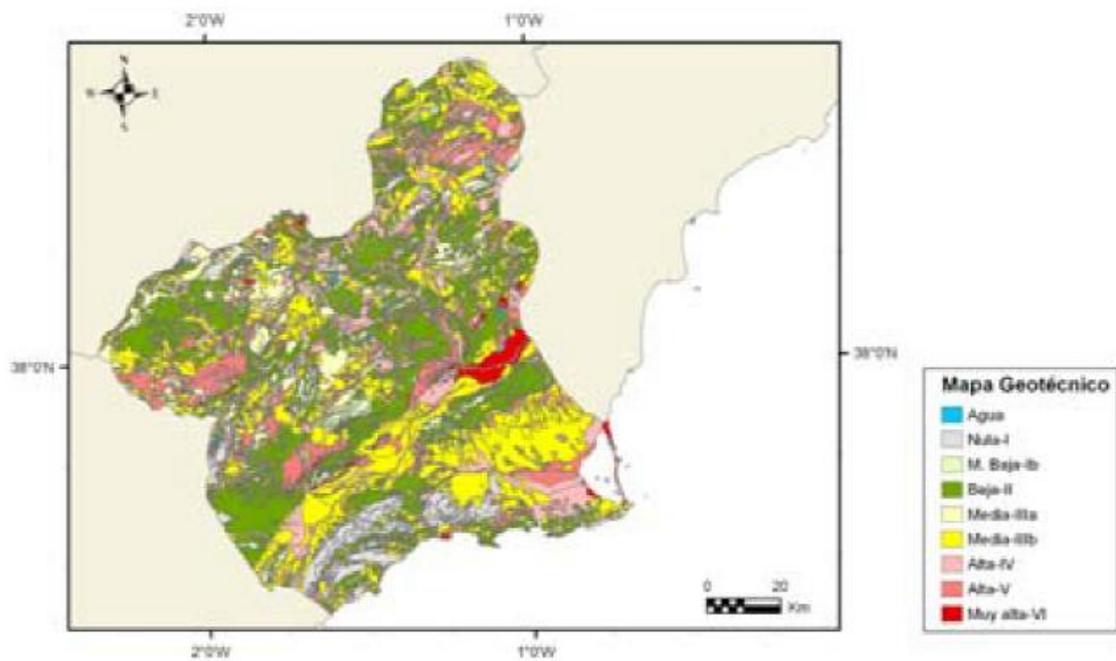
2. PLANOS



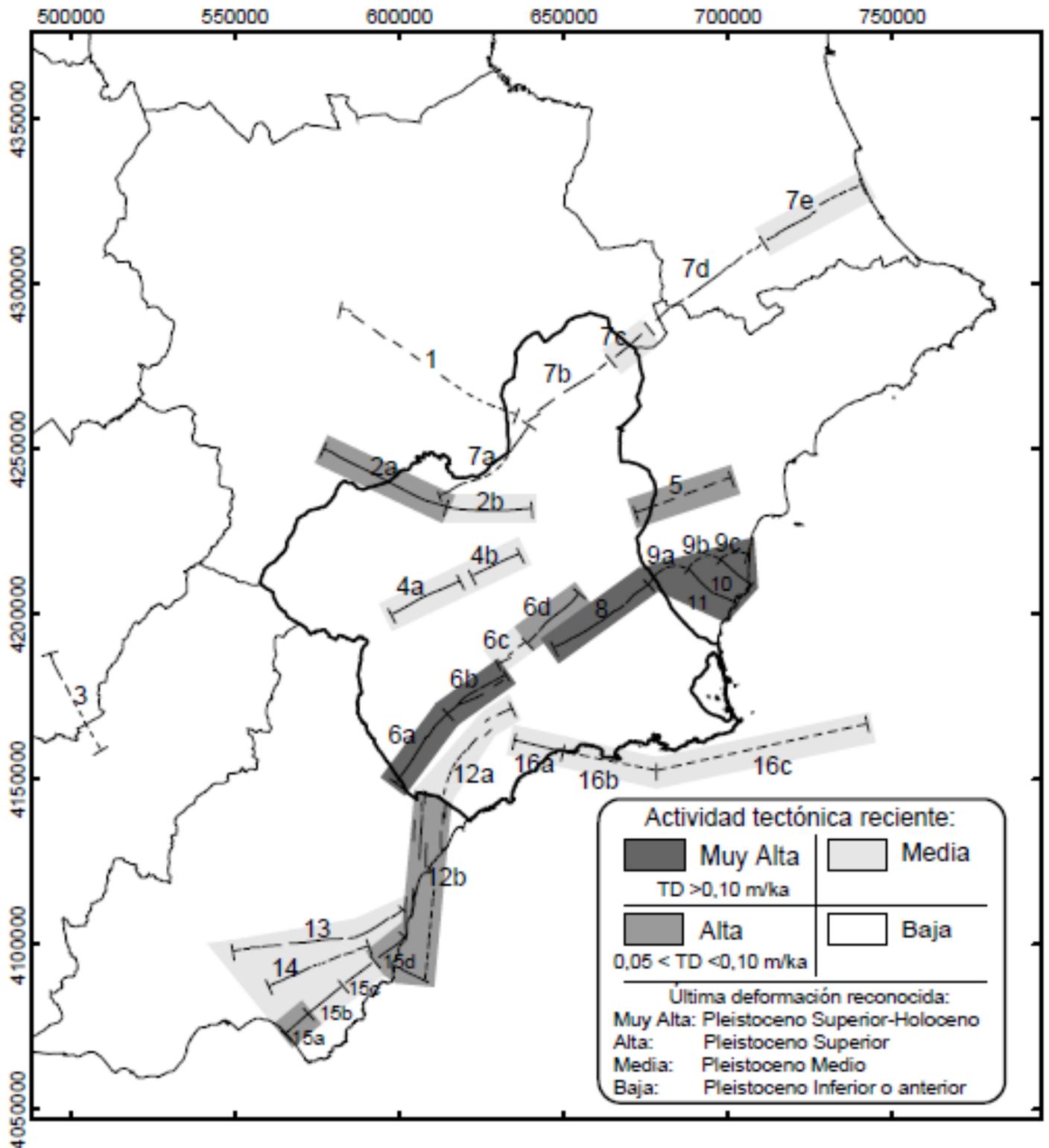
2.1. Planos de información



Mapa de peligrosidad sísmica de España

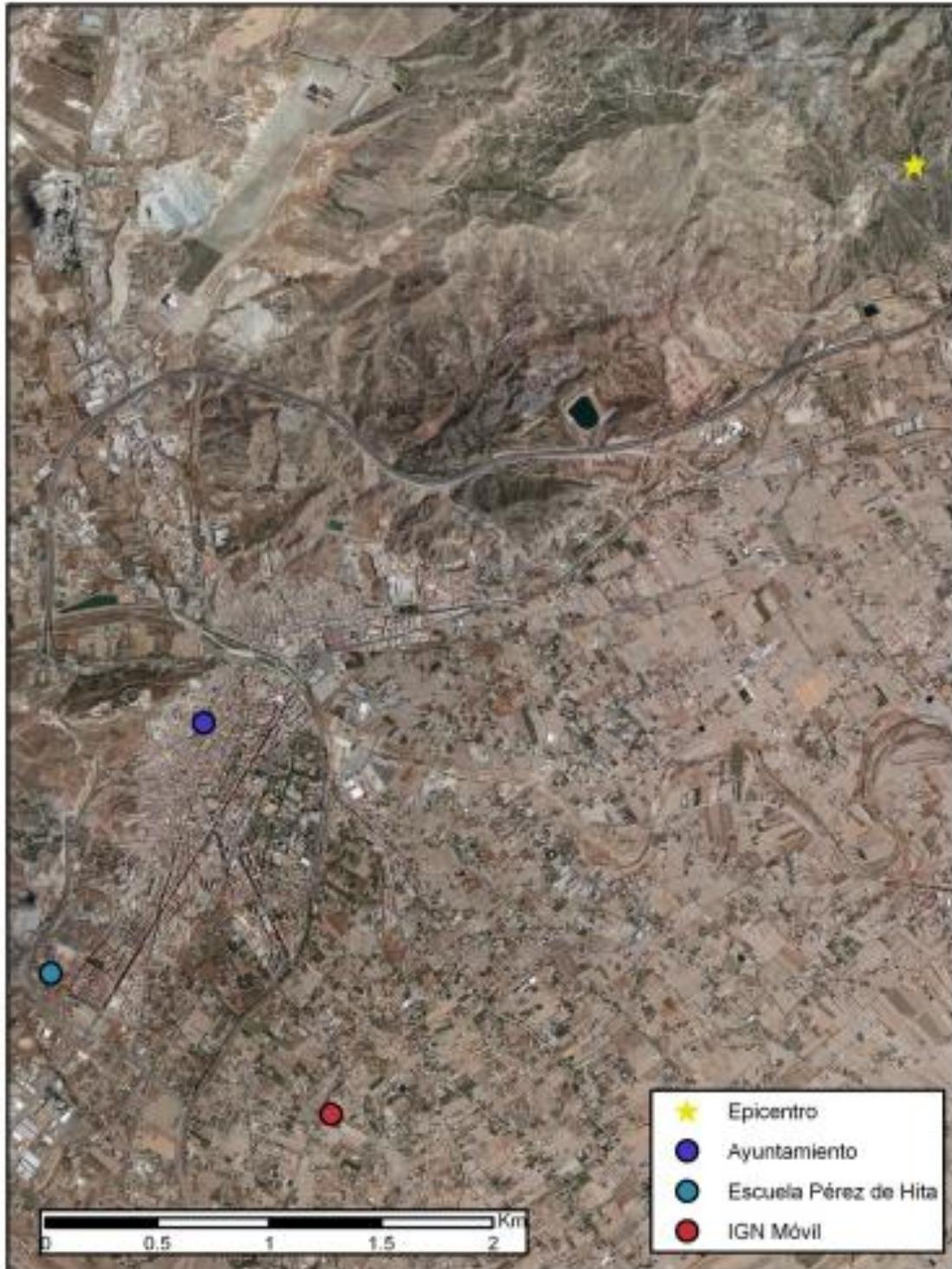


Mapa geológico



Situación de las fallas

2.2. Planos de situación



Localización del epicentro

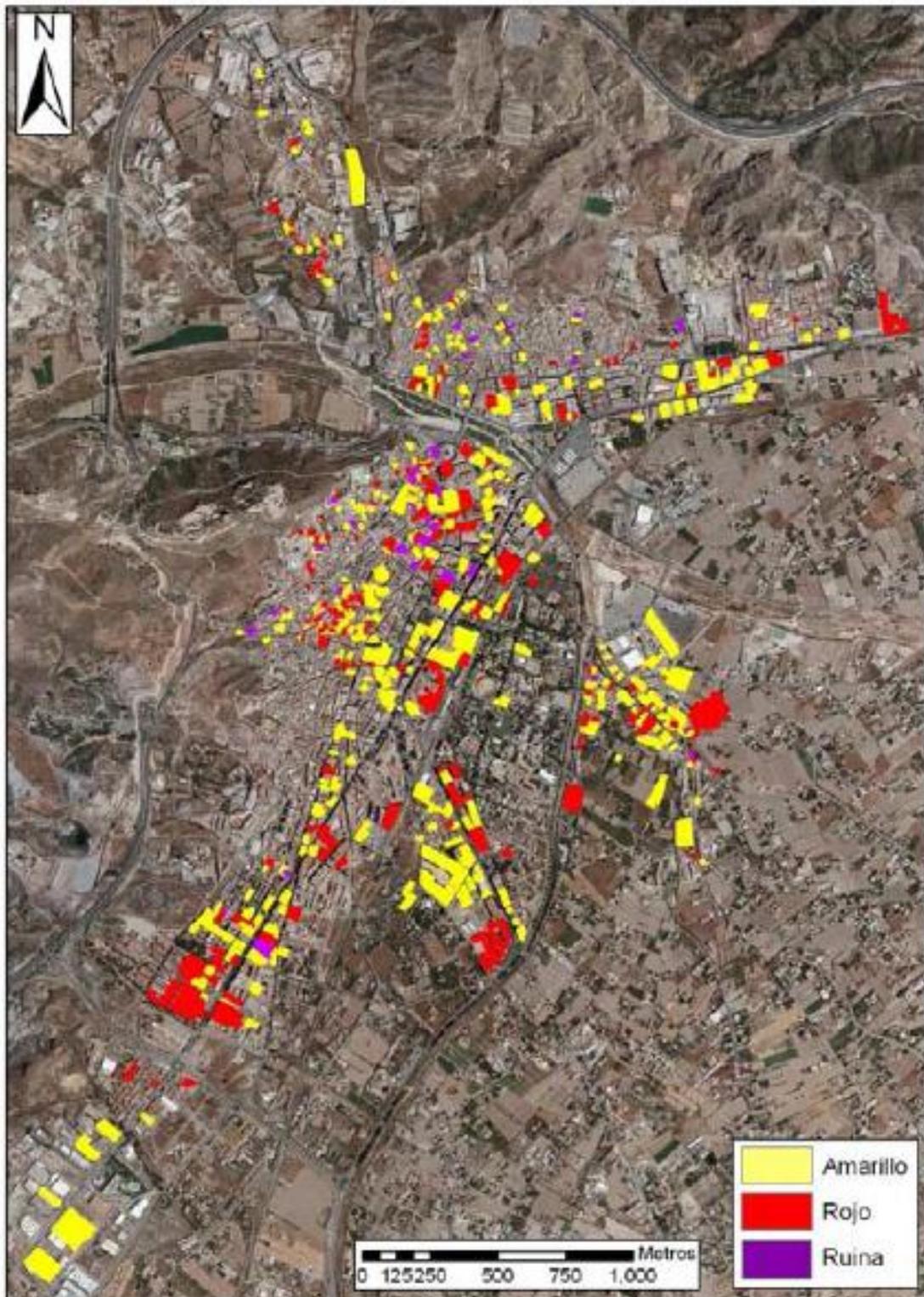


Localización de monumentos patrimoniales

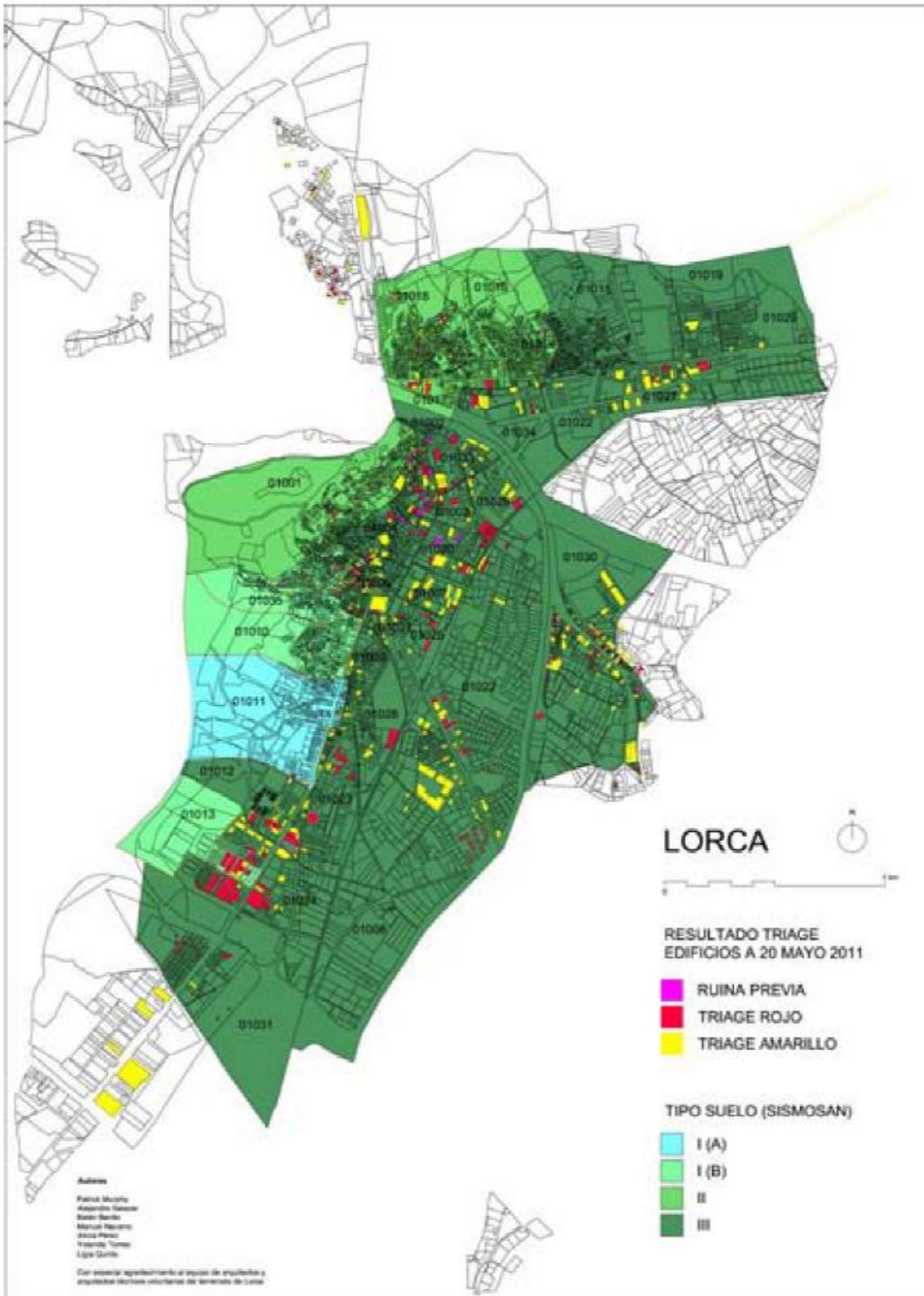


Situación de las zonas más afectadas por barrios

2.3. Planos de análisis



Clasificación del tipo de daños de los edificios







3. ANÁLISIS



3.1. Preguntas para el análisis del terremoto

Antes de comenzar a profundizar en hechos cabe hacerse unas cuantas preguntas

¿Por qué un seísmo de baja intensidad causó tantos daños?

España es un país de poca actividad sísmica, por lo que la gente no está muy acostumbrada a sufrir grandes terremotos, aunque población conoce que un terremoto de gran intensidad es del orden de 6,5 a 7,5 grados, como los terremotos de hace pocos en Italia o Japón, mientras que en Lorca fue de 5,2 grados.

Lo sucedido en Lorca, la causa del fuerte seísmo fue la proximidad a la superficie del Epicentro respecto del Casco Urbano. Además el tipo de terreno que forma la superficie de la ciudad incremento el efecto, que provoca que las ondas sísmicas se amplifiquen.

¿Por qué se han caído edificios nuevos?

Cuando no referimos a los daños en los edificios, debemos de hacer una diferencia entre los daños en las estructuras y otros tipos de daños, como grietas en tabiquerías, fachadas, desprendimientos, caídas de elementos no estructurales.

En el comportamiento estructural, hay que destacar que el parque de edificados de Lorca tuvo un comportamiento satisfactorio a los agentes derivados del terremoto. Únicamente un solo edificio sufrió un colapso en su estructura, y muy pocos tuvieron que ser demolidos.



La normativa vigente de obligado cumplimiento es la NCSE-02 (BOE 244 11/10/2002).

En general, la normativa distingue varias zonas en el territorio según su riesgo sísmico y asigna un coeficiente de aceleración al terreno, con este se debe de calcular los esfuerzos que tienen resistir las estructuras de los edificios y estructuras de la zona.



El coeficiente de aceleración establecido en Lorca es de 0,12g, el cual está relacionado con una serie de coeficientes que tienen en cuenta varios factores como el tipo de suelo o la importancia de la finalidad del edificio. Utilizando todos estos coeficientes se obtiene un valor medio de 0,16g.

Todas las mediciones y datos reales registrados en Lorca, el terremoto llegó hasta una aceleración de 0,37g, la cual es mayor que el doble del valor establecido en la normativa actual. Por todo lo anterior, se puede afirmar que aunque el terremoto tuvo una aceleración muy superior a la que tiene en el diseño de la estructura, los edificios tuvieron un comportamiento estructural muy favorable.

Con los datos registrados, es evidente que para futuras normas, es de obligatorios para los encargados de hacer la nueva normativa tener en cuenta la diferencia entre la aceleración estimada y la que se produjo en realidad

¿Cuál es la causa de que se produjeran tantos desprendimientos?

La Norma NCSE-02 se preocupa del comportamiento estructural de los edificios, sin profundizar en otros elementos que son también muy peligrosos. Debido a esto, la mayor parte de los daños personales y materiales que se han registrado en el terremoto de Lorca ha a causa de que estos elementos se desprendieran o cayeran a la vía pública.



Los criterios que deben seguir para prevenir estos desprendimientos o caídas son:

- Las fachadas que sean mayores a los 5 metros de longitud o 20 m² de superficie deben subdividirse enlazándolos a elementos secundarios intermedios.
- Los elementos como antepechos, parapetos y chimeneas, deben estar totalmente integrados en la estructura para tener todas las garantías de ser totalmente estables.
- Los muros o petos que sean más altos de un metro, se terminaran con un encadenado de coronación.
- En edificios de gran altura, la carpintería de las ventanas debe estar diseñada para que las oscilaciones durante la construcción puedan ser absorbidas.
- Las fijaciones de los revestimientos y los anclajes de la fachada se deberán de construir con materiales durables y con técnicas para evitar que se desprendan.
- Las acometidas de las instalaciones deberán ser capaces de aguantar los movimientos diferenciales en el punto de conexión con la construcción.

3.2. Análisis y soluciones para las patologías en edificación e infraestructuras

Teniendo en cuenta a autores, a manuales Estructurales y las Normas Sísmicas, vamos a centrarnos y analizar lo sucedido realmente en el parque de edificados en Lorca, con el fin de llegar a unas conclusiones prácticas, para que se puedan aplicar en las futuras construcciones de la zona, para que su vulnerabilidad sísmica se reduzca considerablemente y puedan superar las acciones de futuros terremotos que puedan suceder en esta zona.

La construcción de edificios con semisótanos, escalonados, o con otras singularidades constructivas en su diseño que den lugar a pilares cortos, deben de s

prohibirse, y aplicar las reformas pertinentes para plantear refuerzos y detalles constructivos específicos que solucionen esta especial circunstancia. Por ejemplo, deberán evitarse las ventanas y ventilaciones corridas que produzcan piezas verticales (pilares u otros elementos) cortas.



Los huecos en los sótanos podrán practicarse en la mitad de los muros, en lo posible que sean estrechos y si es posible de forma circular.

Si despreciamos el desplazamiento rígido de una placa de forjado (una planta de un edificio) bajo la acción sísmica, todos los pilares de la estructura han de sufrir la misma deformación y para que esto sea así, debemos de aceptar que todos deben de tener una geometría parecida. Es muy posible que los pilares cortos al depender sus rigideces del inverso de su altura al cubo, estos tengan que soportar unas treinta veces más esfuerzo y energía que los pilares de altura normal.

En Lorca los pilares cortos tuvieron en su mayoría un fatal comportamiento, sobre todo por no haber sido previstas en el proyecto y construcción de los mismos sus especiales características en circunstancias y esfuerzos bajo la acción de fuerzas sísmicas.

Esta demostrado que las juntas que se disponen en las estructuras de los edificios a unos 40 metros, tienen una mejor respuesta que a una estricta necesidad física.

El método americano, que J. Calavera explica en su libro, demuestra que para los edificios de construcción normalizada, las juntas pueden situarse dentro de las estructuras, respetando a las juntas de los cerramientos y pavimentos, situando a estas a distancias en torno a los 70-80 metros, para que no que se originen patologías en los mismos. Lo más recomendable para tener un buen edificio es evitar, si no es estrictamente necesario, las juntas estructurales, tanto teniendo en cuenta el carácter sísmico y el geotécnico.

Realmente lo que hay que evitar es establecer juntas en los edificios cuando no son necesarias, y particularmente si se hayan escalonadamente entre los bloques de un mismo

conjunto, esto facilita que se produzcan golpes destructivos a media altura sobre los pilares bajo las oscilaciones sísmicas con consecuencias nefastas para estos. En Lorca casos como los descritos han existido demasiados, lamentablemente para los edificios.



Si no queda otra solución que el edificio tenga que tener juntas, debe de intentarse que el diseño no escalone los forjados (procurar que todos ellos se encuentren a nivel). Si esto no pudiera ser posible, los pilares tendrían retranquearse de los bordes del edificio lo necesario para evitar que los forjados choquen contra ellos durante las vibraciones producidas por sismo, como ha pasado en gran parte de los edificios de Lorca.

Los edificios con juntas en régimen de medianería de poco espesor, como son las sísmicas, suelen dar varios problemas como humedades, suciedades, ratas o insalubridad, excepto que se construyan en torno al metro de anchura para poder hacer un buen mantenimiento. Por esto, colocar en las juntas algún material de tipo elástico, recolocando la posición de los pilares de las medianerías adyacentes a las juntas, así evitar los golpes que los cizallan y trituran bajo las oscilaciones sísmicas, aunque esto suponga la ruina de los cerramientos adyacentes a las juntas como un mal menor.

La solución anteriormente propuesta se puede eludir, si los forjados de los edificios están al mismo nivel, pues la experiencia muestra que no parece que se plantean problemas de consideración por los posibles choques entre los cantos de los forjados en estas condiciones.

La norma sísmica obliga a dejar juntas entre los edificios en régimen de medianería, con distancias mínimas que reduzcan las consecuencias de los choques durante los movimientos sísmicos.

Para los edificios de estructura convencional de menos de diez plantas, los más comunes, la Norma establece que la longitud de la junta que puede ser entre diez o quince centímetros. Esto genera un problema de estanqueidad frente al agua y de salubridad.



Comportamiento de las escaleras

Un punto a tener en cuenta son las escaleras. En Lorca han sido un verdadero problema, pues la acción sísmica ha generado gran número de daños en elementos como las losas estructurales, los pilares que las rodean y los cerramientos perimetrales, sobre todo en las situadas en plantas bajas.

Todo esto no extraño, pues son partes de la estructura de los edificios que no se les suelen dedicar mucha atención por parte de los proyectistas y constructores, y se colocan de cualquier forma porque deben de construir, descuidando su carácter estructural y debilitando la estructura general del edificio.

Puesto que los pilares cercanos a las escaleras o que formaban parte de los descansillos se comportaron mal bajo las acciones sísmicas, estos deben de eliminarse, puesto que actuando como pilares cortos, o recibiendo los impactos de cizalladura que han generado sobre ellos las losas de las mismas, ha llevado a que gran parte de ellos hayan sufrido unos graves daños.

Una solución estructural para las escaleras sería que se mantuviesen aisladas de los pilares o encerradas en un núcleo de hormigón fuertemente armado, aunque los riesgos de estos núcleos son importantes, si el resto de la estructura no tiene pilares con pantallas adicionales antisísmicas. Estos núcleos absorben mucha energía sísmica con para la capacidad resistente que poseen, por lo que están condenados a sufrir graves daños. Por lo que hay que reforzar con pantallas adicionales antisísmicas distribuidas adecuadamente con el sistema estructural de los edificios.

La colocación de las pantallas debe de ser adecuada y que sume en la capacidad de la estructura en absorber la energía sísmica, pues un número inadecuado y mal colocado dentro de los edificios, puede ser un gran problema, puesto que se romperán y se transmitirán los esfuerzos sísmicos por las estructuras a los pilares posteriormente de forma inadecuada y descontroladamente.

Lamentablemente, poco se puede hacer en cuanto al diseño global de las plantas de los edificios, excepto en aquellos que puedan ser diseñados y construidos de forma aislada. Los solares donde se puede construir normalmente están muy encorsetados entre manzanas, los arquitectos y el sistema carecen de margen de maniobra para diseñarlos eficazmente frente a sismos, salvo tratar de regularizar de la mejor forma la ubicación de los soportes distribuyéndolos adecuadamente en los sistemas estructurales de los edificios. No obstante, el plantearse que el centro de masas del edificio y el centro de inercias de la estructura vertical coincidan, sería recomendable para poder evitar graves daños en los edificios y demás estructuras en futuros terremotos.



Comportamiento de los Forjados

Todos los forjados de viguetas de cualquier tipo, tuvieron un comportamiento especialmente bueno, pues excepto algún caso aislado y algún que otro daño ocasionado por la sobrecarga debida al impacto de los escombros caídos sobre estos, no se podido detectaron patologías de ningún tipo en los mismos.

Destacando el comportamiento de los forjados reticulares, donde no se han detectado los temidos punzonamientos sísmicos en ninguno de ellos.

En cuanto a las vigas de gran canto apeando pilares, no se han registrado patología alguna en los casos analizados.

Comportamiento de los pilares

Para analizar el comportamiento de los pilares hay que centrarse en las plantas bajas, pues la totalidad de los pilares dañados se encuentran en estas, salvo excepciones.

Según los análisis, más de un 15% de los edificios han sufrido daños de cierta consideración en sus pilares, englobando en dicha estadística todas los tipos de estructuras de hormigón de edades y naturaleza muy diversa.

La inmensa parte de los pilares cortos que separan los huecos de los ventanales en los semisótanos sufrieron graves daños o un colapso total, por lo que deben ser eliminados o cuando no quede haya otra solución para ventilar los semisótanos destinados a garajes, sustituirlos por lienzos de muros fuertemente zunchados.

La mayoría de los pilares aislados, destacando los que están fuera de los cerramientos de los edificios, se comportaron bien, sin sufrir gran parte de ellos daños visibles o de muy poca gravedad. Hay excepciones pero poco relevantes. Los daños que presentan los pilares más visibles, suelen ser ligeros desconches y desprendimientos de los hormigones que cubren las armaduras en sus cabezas. Estos daños pueden ser debidos más por las microfisuraciones debilitadoras que se producen durante los procesos constructivos, que fuerzas que sufren por las acciones sísmicas durante el terremoto en sus bordes y esquinas.

Por otro lado, es muy común en Lorca empalmes de los hormigones de los pilares a unos 10 cm de las vigas y forjados, creando un plano de discontinuidad que fue muy perjudicado durante las acciones sísmicas.

En muchos pilares se aprecia una oscilación predominante y un movimiento final fuerte, que dejo marcas en las cabezas y pie de algunos de estos pilares.

Los estudios realizados en el parque de edificios de Lorca muestran que hay que hacer énfasis en aplicar bien la normativa en las plantas bajas de los edificios, gastando en



estas todo lo que se pueda ahorrar en el resto de la obra, y así evitar problemas por futuros seísmos.

Comportamiento de cerramientos y tabiquería

El terremoto ha actuado con especial gravedad en todas las tabiquerías divisorias de los bajos comerciales la mayoría sin uso y de pésima calidad, también las tabiquerías de las escaleras en las plantas bajas, y en algunas chimeneas de ventilación de las cubiertas de los edificios sufrieron daños.

Algunas de las víctimas mortales y bastantes heridos fueron debidos al desprendimiento de algunos petos de las cubiertas y tabiquerías de las plantas bajas sobre angostas calles de Lorca.

La caja de los ascensores, que se construyen de hormigón armado por motivos acústicos principalmente, presentan el problema que son de incapaces de absorber, sin sufrir graves daños, los enormes esfuerzos sísmicos que asumen inicialmente por su gran rigidez y por muy fuerte que sea la armadura se acaban rompiendo, si el resto de la estructura se soluciona solo con pilares y sin introducir muros-pantalla adicionales que refuercen.

Los aspectos estructurales de resistencia y seguridad deben ser mucho más relevantes y prevalecer sobre aspectos de funcionalidad que otras normas establecen y demandan. El buen tratamiento de la estructura es el que evita posibles daños en futuros seísmos.

Comportamiento Infraestructuras

Por lo general, el comportamiento fue bueno sin tener en cuenta pequeños daños sin importancia que no repercutieron casi nada en el funcionamiento de las mismas.







3. CONCLUSIONES





La experiencia proporcionada por el terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011, nos lleva a las siguientes conclusiones:

1. La gran mayoría de las víctimas del terremoto no fueron causadas por el colapso de las estructuras, sino por los fenómenos de otro tipo, como el diseño inadecuado geométrico del edificio, disposiciones constructivas ineficaces durante un choque o una planificación urbana que favorece los efectos adversos en caso de terremoto.
2. El daño del terremoto se concentró en las estructuras y elementos no-estructurales de los edificios y no en las infraestructuras de la ciudad. Por tanto, estas construcciones requieren un estudio que investigue a fondo la vulnerabilidad del planteamiento urbanístico de la ciudad y establecer un protocolo rápido y seguro para la evaluación de daños tras el terremoto.
3. Planificación sísmica debe tener en cuenta el llamado "efecto local". Este efecto no significa solamente integrar parámetros o cuestiones, como el suelo y la ampliación de riesgo sísmico, sino reducir la escala territorial urbana, contemplando los parámetros de la distribución del plan urbanístico o las características del parque de viviendas en la ciudad. El instrumento necesario para alcanzar este nivel de detalle es microzonificación urbano.
4. Es necesario poner en práctica, en las herramientas de planificación urbanística de las ciudades con cierto riesgo de terremoto, la variable planificación sísmica en todos los niveles. Lorca es un ejemplo evidente de cómo la ausencia de estos parámetros en el desarrollo de la planificación urbana acentúa el daño de los edificios para un terremoto de intensidad media-baja.
5. Es necesario que en una zona sísmica tan activa, tener varios conceptos claros a la hora de llevar a cabo una obra como la falta rigidez en el pequeño y mediano inmueble de pórticos de hormigón armado, no plantear estructuras de concepto estático, la albañilería modifica, secuestra, altera y condiciona la respuesta estructural y tener un concepto y diseño sismorresistente que responda si se vuelve a dar una situación parecida.





5. BIBLIOGRAFÍA





- **C. A. Brebbia (2014).** Risk analysis IX. Wessex Institute of Technology. UK.
- **THE NEW SISMIMUR PLAN: SEISMIC URBAN PLANNING IN THE REGION OF MURCIA (SPAIN) AFTER THE EARTHQUAKE OF MAY 11, 2011** S. GARCÍA-AYLLÓN & A. TOMÁS
Department of Civil Engineering, Technical University of Cartagena (UPCT), Spain.
- **ANÁLISIS Y REFLEXIONES SOBRE LOS TERREMOTOS DEL 11 DE MAYO DEL 2011 ACONTECIDOS EN LORCA (SUGERENCIAS PARA EL FUTURO)** Informe realizado por: F. Regalado y Víctor Lloret en representación del Equipo Técnico de Florentino Regalado y Asociados y Regalado Arquitectos.
- **PLAN DIRECTOR PARA LA RECUPERACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DE LORCA (MURCIA)**
- **EXPERIENCIAS CONSTRUCTIVAS DEL TERREMOTO DE LORCA** José-Carlos Salcedo Hernández (Departamento de Construcción Universidad de Extremadura) Antonio-José Campesino Fernández (Departamento de Arte y Ciencias del Territorio Universidad de Extremadura)
- **IGC** instituto geológico de Cataluña
- **Informe sobre el terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011** International Association of Emergency Managers IAEM-España.
- **EL TERREMOTO DE LORCA (2011) EN EL CONTEXTO DE LA PELIGROSIDAD Y EL RIESGO SÍSMICO EN MURCIA** Belén Benito Oterino, Alicia Rivas Medina, Jorge M. Gaspar-Escribano & Patrick Murphy.
- **INFORME DEL SISMO DE LORCA DEL 11 DE MAYO DE 2011** INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL Luis Cabañas Rodríguez, Emilio Carreño Herrero, Arancha Izquierdo Álvarez, José Manuel Martínez Solares, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID Ramón Capote del Villar, José Martínez Díaz ,UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID Belén Benito Oterino, Jorge Gaspar Escribano, Alicia Rivas Medina; INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Julián García Mayordomo, Raúl Perez López, Miguel A. Rodríguez Pascua ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIERÍA SÍSMICA Patrick Murphy Corella





ANEXO I

Clasificación de daños





Clasificación de daños

La clasificación de daños registrados en el terremoto de Lorca consta de los siguientes apartados:

- Tipo de estructura de los edificios afectados
- Vulnerabilidad de materiales según EMS 98
- Causa del colapso

Tipo de estructura de los edificios afectados

Según la EMS98 se evalúa la capacidad resistente al sismo con una clasificación de A a F, siendo A lo más favorable y F lo más desfavorable.

Tipo de estructura	Clase de vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
Fabrica						
• Piedra suelta o canto rodado						
• Adobe (ladrillos de tierra)						
• Mampostería						
• Sillería						
• Sin armar, de ladrillos o bloques hormigón armado.						
• Armada o confinada						
Hormigón						
• Estructura sin diseño sismorresistente (DRS)						
• Estructura con nivel medio DSR.						
• Estructura con nivel alto DSR.						
• Muros sin DSR.						
• Muros con nivel medio DSR.						
• Muros con nivel alto DSR.						
Estructura de acero.						
Estructura de madera.						

Vulnerabilidad de materiales según EMS 98

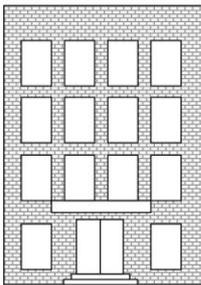
Construcciones con muros estructurales.

GRADOS	Descripción
1	Daños ligeros o despreciables
2	Daños moderados
3	Daños considerables
4	Daños muy graves
5	Destrucción

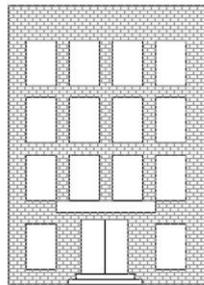
Construcciones con estructura de hormigón armado.

GRADOS	Descripción
1	Daños ligeros o despreciables
2	Daños moderados
3	Daños considerables
4	Daños muy graves
5	Destrucción

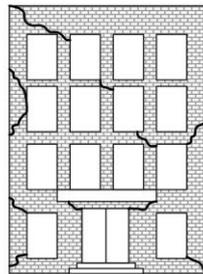
Grado 1



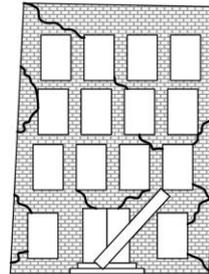
Grado 2



Grado 3



Grado 4



Grado 5



Causa del colapso

Se estudia individualmente cada elemento constructivo que pudiera ser causante del fallo global de la edificación, y así concretar cuál de todos ellos es el responsable inicial. Estos son los elementos responsables:

- Materiales constructivos
- Elementos constructivos
- Unidad constructiva
- Sistema de construcción
- Sistema global del edificio
- Dirección de obra
- Control de calidad y mantenimiento de la obra



ANEXO II

Galería de daños



Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Hormigón Armado. D-C	5	Sistema global del edificio



Edificio ubicado en la calle Infante Juan Manuel colapsado, esto puede ser debido a una mala ejecución o a un diseño fallido, pues en fotos anteriores al colapso se pueden ver grietas y fisuras, además de irregularidades de altura y plantas y pilares cortos debido a que el edificio se encuentra en una calle con pendiente. .

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Mampostería de piedra. A	5	Sistema global del edificio



Este edificio antiguo, de estructura de muros de carga, debe de ser demolido pues la parte superior ha colapsado.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Mampostería de sillares de ladrillo. A	5	Sistema global del edificio
		
<p>El colapso de la cúpula y la nave central de la iglesia de San Antonio, es probable a un mal mantenimiento del edificio por parte de patrimonio.</p>		

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos fábrica de ladrillo. A-B	5	Sistema global del edificio
		
Este edificio, Colegio de La Salle, es deficiente para resistir el sismo por tipo de construcción.		

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórtico de hormigón. C	2	Elementos constructivos



Parece poco probable que tenga daños es su estructura. Las irregularidades en altura y planta son la causa posiblemente del desprendimiento de los cerramientos.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Hormigón Armado. C	4	Sistema constructivo.



Este edificio de los años setenta tiene que ser demolido, debido al colapso de otro edificio vecino que ha dañado fatalmente su estructura. Ubicación calle Infante Juan Manuel

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de hormigón armado. D-C	4	Sistema de construcción
		
<p>Edificio que presenta plantas blandas, al carecer de cerramientos resistentes, y además irregularidades en alturas del edificio y en su planta. Presenta pilares colapsos en la planta baja debido a esfuerzos cortantes.</p>		

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de hormigón armado. D-C	4	Sistema de construcción



Edificio construido en los años 80 de 5 alturas que presenta irregularidades tanto en altura como planta. También hay pilares cortos en la planta baja responsables de los daños. Gran diferencia de rigidez entre las dos primeras plantas del edificio. Por otro lado, los ejes de los pilares han sido deformados a causa del sismo.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Hormigón Armado. D-C	4	Sistema de Construcción



Edificio del 2001 en calle Talleres. Se pueden ver claramente el problema de los pilares cortos en el semisótano, causantes de los daños, Además de la carencia de estribos en los pilares. Este edificio tiene que ser derruido.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de hormigón armado	4	Sistema de construcción



Edificio construido en 2002 que presenta irregularidad en planta y las alturas, además también presenta pilares cortos en la planta baja, esto causa un cambio importante en las rigideces de la planta baja y el resto por el gran cortante que soporta el pilar corto.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de hormigón armado. C	4	Sistema constructivo



la parte superior del edificio ha colapsado casi en su totalidad, lo que puede ser debido a la irregularidad en planta y altura de este.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de hormigón armado. C-D	3	Sistema de construcción



Daños en la planta baja provocados por irregularidades de en planta y alturas del edificio.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de Hormigón Armado. D-C	3	Sistema de construcción



Desprendimiento de los muros de cerramiento de la planta baja debido posiblemente a la irregularidad de las alturas y plantas del edificio. Su ubicación en pendiente provoca irregularidades en las tensiones los pilares.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórticos de Hormigón Armado. D-C	3	Sistema de construcción



Desprendimiento de los muros de cerramiento de la planta baja debido posiblemente a la irregularidad de las alturas y plantas del edificio. Su ubicación en pendiente provoca irregularidades en las tensiones los pilares.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
<p>Pórticos de HA. D-C</p>	<p>3</p>	<p>Sistema de construcción</p>
<p>Daños a causa de irregularidades en planta y en las 5 alturas del edificio.</p>		

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Muros de fábrica de ladrillo. A-B	3	Sistema de construcción.



Daños en las esquinas del edificio, caída del alero, tejas y muro superior del edificio.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Muros de fábrica de ladrillo. A-B	3	Sistema de construcción.
		
<p>Caida de la parte superior de la fachada de provocada por los muros transversales de carga</p>		

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
<p>Pórtico de hormigón. D</p>	<p>2</p>	<p>Unidad constructiva</p>



La irregularidad de las alturas de las 10 alturas y en la planta puede ser la causa de las fisuras y grietas de las particiones y cerramientos. Las 5 primeras plantas son las que sufren los desperfectos.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
<p>Pórtico de hormigón. D-C</p>	<p>2</p>	<p>Unidad constructiva.</p>



Daños en la planta baja de un edificio de tres plantas sin irregularidades en las alturas de sus plantas.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórtico de hormigón. D-C	2	Unidad constructiva



Planta baja dañada en un edificio que se ve claramente las irregularidades en altura.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórtico de hormigón. D-C	2	Unidad constructiva



Desprendimiento de los cerramientos de los bajos del edificio, por la influencia de la irregularidad de altura de las plantas. La estructura es posible que no haya sufrido algún daño.

Tipo de estructura Clase de vulnerabilidad	Vulnerabilidad de materiales Grados	Causa del colapso
Pórtico de hormigón. C	2	Unidad constructiva



Desprendimiento de las placas de un cerramiento de una fachada exterior.

