



## 5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

### 5.1. VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES

#### 5.1.1. CONCEPTOS DE VULNERABILIDAD, DAÑO Y RIESGO

A efectos de una evaluación de los daños sísmicos previsibles en edificaciones e infraestructuras de Málaga, se puede definir los siguientes conceptos:

- **Vulnerabilidad:** De las edificaciones está asociada a sus condiciones constructivas propias (diseño, materiales, tipologías constructivas, ejecución, etc.) que las hacen más o menos resistentes ante un episodio sísmico.
- **Daño:** Es la fragilidad o resistencia de una edificación o infraestructura ante un peligro o evento dado. En este Plan el daño se va a medir en grados conforme a la EMS-98, que son 5 y van desde el 1 (o muy leve) al 5 (o colapso total de la edificación).
- **Riesgo:** Según la definición de UNDR0 (1979), el riesgo en una determinada ciudad es la suma de una serie de factores, como la peligrosidad del suelo, la vulnerabilidad de las edificaciones, la exposición (población, edificios y obras civiles, actividades económicas, servicios públicos e infraestructuras), así como los costes (nº de pérdidas de vidas humanas, heridos, daños a las propiedades, efectos sobre la actividad económica y el coste de reparación), debido a la ocurrencia de un desastre. Se puede expresar en nº de edificaciones que pueden quedar inhabitables o con un determinado grado de daño, en víctimas (mortales y heridos), en personas que han quedado sin hogar, en coste o valor de reposición de los daños, etc.

De estos factores principales que intervienen en la ecuación del Riesgo, se puede deducir que, hay uno de ellos que es fijo e intrínseco al tipo de terreno, que es la peligrosidad, y dado que este factor es inamovible, sería deseable que el planeamiento contemplase esta circunstancia para evitar que se edifique sobre suelos del alta peligrosidad. Por otro lado, para disminuir el riesgo en la ecuación, tendríamos que actuar sobre el otro factor principal, que es la vulnerabilidad, intentando mejorar las condiciones de las edificaciones e infraestructuras para bajar su vulnerabilidad y así poder bajar el riesgo.

Los conceptos de vulnerabilidad y daño están estrechamente relacionados, puesto que los factores que influyen en el daño que puede llegar a sufrir una edificación ante un sismo son los mismos que se van a tener en cuenta a la hora de evaluar su vulnerabilidad. El estudio de los efectos de los terremotos en las construcciones, ayuda a entender y conocer todos aquellos factores que influyen en la vulnerabilidad de una edificación y, por tanto, en los daños.

Con el fin de estimar los daños que pueden producir futuros terremotos en las edificaciones, es necesario conocer los distintos tipos constructivos y estructurales, así como su comportamiento ante los diferentes movimientos o sacudidas que le transmita el suelo, pudiendo así estudiarse los posibles escenarios que nos podríamos encontrar y poder realizar



una planificación eficaz y adecuada de las distintas actuaciones en el caso de ocurrir un episodio de este tipo.

## 5.1.2. FACTORES INFLUYENTES EN LA VULNERABILIDAD.

Los daños que sufren las construcciones y edificaciones durante un terremoto son el resultado, por tanto, de la contribución de una serie de factores que la hacen más o menos vulnerable. Estos factores están relacionados, además de con la fuerza de las sacudidas y la ubicación de las edificaciones, dependiendo de su tipología estructural, sistema constructivo, diseño, ejecución así como de la degradación de los materiales que lo componen (Vidal y Feriche, 1995).

### 5.1.2.1. Tipología estructural y constructiva.

Es quizás, el factor más importante a la hora de estudiar la vulnerabilidad de las edificaciones, empezando por su sistema estructural, que es la parte más resistente de la edificación, y que condiciona el comportamiento del conjunto constructivo, no se comportan igual estructuras murarias (muros de carga) en sus distintas tipologías, que las estructuras de hormigón armado, las estructuras metálicas, o las estructuras mixtas de hormigón armado y metálicas, cada una de ellas con sus características, según solicitaciones y circunstancias. La tipología constructiva está íntimamente ligada a la calidad de los materiales empleados y a los sistemas constructivos elegidos. La fragilidad de algunos materiales, puede suponer un fallo rápido o incluso súbito, cuando el esfuerzo llega a un determinado valor sin que exista una cierta cantidad de deformación plástica o dúctil antes del fallo, es una propiedad no deseable que presentan algunos materiales de construcción y que condiciona la respuesta estructural.

Por otro lado, la resistencia es una propiedad deseable en las construcciones ya que se opone a las fuerzas que actúan durante el terremoto. Así, la unión entre los componentes individuales, que generalmente sigue unos estándares en cada lugar y para cada época, es el otro elemento decisivo en el comportamiento y resistencia estructural.

De ahí que, tanto los materiales como el modo en que tradicionalmente se han venido disponiendo en la estructura, hayan servido para clasificar las tipologías constructivas, considerándose como más vulnerables las construidas de adobe, tapial, piedra y, las que menos, las estructuras de hormigón armado y las metálicas (Feriche, 2012).

Para el estudio de las tipologías, se ha seguido en este Plan Sísmico de Málaga el criterio de la matriz de tipologías constructivas contempladas en el proyecto Risk-UE (2003) que las agrupa por características estructurales y comportamientos similares, que puede verse en la tabla siguiente y consultarse con detalle en el **ANEXO II: DESCRIPCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS**, en las que se especifican las características definitorias de cada una de las tipologías.

TIPO	DESCRIPCIÓN
M1.1	Muros de carga de fábrica de piedra y cascotes
M1.2	Muros de carga de fábrica de piedra tallada
M1.3	Muros de carga de fábrica de Sillería
M2	Adobe / Tapial
M3.1	Muros de carga de fábrica y forjados de madera
M3.2	Muros de carga de fábrica no reforzada y bóvedas de ladrillo
M3.3	Muros de carga de fábrica no reforzada y forjados mixtos de acero y mampostería
M3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losa hormigón armado
M4	Muros de carga de mampostería confinados o reforzados
M5	Edificios de mampostería totalmente reforzada
RC1	Estructuras de pórticos de Hormigón resistentes al momento
RC2	Muros de cortante de hormigón
RC3.1	Estructuras de Hormigón Armado con tabiquería regular
RC3.2	Estructuras de Hormigón Armado irregulares tabicadas
RC4	Sistemas duales de muros y pórticos de hormigón armado
RC5	Muros de Hormigón prefabricado
RC6	Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de HA
S1	Estructuras metálicas resistentes a momento
S2	Estructuras metálicas arriostradas
S3	Estructuras metálicas con muros de relleno de fábrica sin reforzar
S4	Pórticos metálicos con muros de cortante de HA colocados "in situ".
S5	Sistemas mixtos de Acero y H.A
W	Estructuras de madera

**Tabla 16.** Matriz de tipologías constructivas (BTM) contempladas en el Proyecto Risk-UE (2003)

### 5.1.2.2. Antigüedad constructiva.

Otro factor determinante a tener en cuenta es el año de construcción de las edificaciones, en este sentido, tendremos que considerar que las edificaciones e infraestructuras construidas o instaladas se clasificarán de mayor a menor vulnerabilidad en función del **año de construcción y su período constructivo**. A la hora de establecer dichos períodos constructivos se han tenido en cuenta los plazos de vigencia de las diferentes normas sismorresistentes que han ido apareciendo así como sus períodos de vigencia. A continuación se hace una breve reseña de dichos períodos y características de las normativas (SISMOSAN, 2007):



- **MV-101 1962:**
  - Mapa de peligrosidad sísmica: determinista, donde la sismicidad histórica tiene gran peso y que se podría considerar como la suma de las máximas observadas.
  - Ámbito de aplicación: Intensidad (MM)>VI (>0,03g) en el mapa de peligrosidad sísmica para edificios de normal importancia.
  - Período de vigencia: **1964 - 1969**
- **PGS-1 1968:**
  - Mapa de peligrosidad sísmica: se definen tres zonas básicas, denominadas de sismicidad Baja Intensidad (MSK< VI), Media Intensidad (MSK entre VI y VIII), y Acusada Intensidad (MSK> VIII). Se incorpora una amplia zona del pirineo aragonés como de sismicidad acusada, y casi toda Andalucía, Baleares y Canarias como zona de sismicidad media.
  - Ámbito de aplicación: Intensidad (MSK> VI) (>0,04g) en construcciones de normal importancia.
  - Prescripciones constructivas: en zonas de sismicidad media-acusada se prohíben tapial/adobe; se obliga a que las estructuras de fábrica tengan zunchos o vigas de hormigón armado (4Ø10).
  - Período de vigencia: **1970 - 1976.**
- **PDS-1 1974:**
  - Mapa de peligrosidad sísmica: casi el mismo que el de 1968, salvo que las zonas sísmicas se llaman primera, segunda y tercera, para sismicidad baja, media y alta.
  - Ámbito aplicación: para estructuras de fábrica Intensidad (MSK>VI) (>0,04g), Hormigón Armado y Estructuras Metálicas IMSK>VIII (>0,15g).
  - Prescripciones constructivas: las estructuras de fábrica se reforzarán en Intensidad (MSK>VII) (0.08g) y se descartan para Intensidad (MSK>VIII).
  - Período de vigencia: **1977 - 1996.**
- **NCSE-1994:**
  - Mapa de peligrosidad sísmica: basado en métodos probabilistas. Se presenta por primera vez en valores de aceleración. Se introduce el coeficiente K que mide la contribución de los terremotos que ocurren en la zona de Cabo San Vicente.
  - Ámbito aplicación: En áreas de ab >0,06g
  - Prescripciones: Básicas en cuanto a diseño, con recomendaciones sobre simetrías, distribución de plantas, etc. En cuanto al cálculo, modal



espectral con método simplificado equivalente para edificios más habituales. Aporta detalles constructivos generales. Se descartan estructuras de mampostería para  $a > 0.08g$ .

- Período de vigencia: **1997 - 2004.**
- **NCSE-2002:**
  - Mapa de peligrosidad sísmica: está basado en estudios probabilistas y es ligeramente diferente al de la NCSE-94. Se presenta en valores de aceleración. Se introduce el coeficiente de suelo "S". La peligrosidad de Málaga es de 0,11 g (en roca).
  - Ámbito aplicación:  $a_b \geq 0,08g$  para estructuras a base de pórticos de hormigón armado, actualmente dominantes en el panorama constructivo español, y  $a_b \geq 0,04g$  para edificaciones de fábrica.
  - Prescripciones: la principal novedad de la norma es la aportación extensa de información constructiva y de diseño conceptual de proyecto. Se aportan soluciones concretas para conseguir acoplamientos efectivos entre nudos y detalles con grados variables de ductilidad. La mampostería ordinaria de piedra está proscrita en todo el ámbito de aplicación de la norma.
  - Período de vigencia: **desde 2004.**

En consecuencia, para nuestro Plan se van a considerar, de cara a la cuantificación de la vulnerabilidad de las edificaciones, dos grupos de tipologías constructivas:

- **Murarias (muros de carga):** Las más comunes son las de Mampostería, pero se incluyen también muros de carga de tapial, fábrica y estructura de entramado vertical de madera, y se incluirá en este grupo todas las edificaciones construidas antes del año 1950 incluido ese año ( $\leq$  al año 1950), y llamaremos a este grupo "Murarias o de Mampostería".
- **Hormigón Armado o de Acero:** En este grupo incluiremos todas las edificaciones posteriores al año 1950 ( $>$  al año 1950) para las tipologías de hormigón armado y metálicas, recogidas como "H.A. y Acero".

La metodología SIG empleada para el análisis de la vulnerabilidad, crea un nuevo campo en la capa base de edificaciones denominado "tipología constructiva", el cual recoge el tipo de estructura en función de lo anteriormente citado, y se completa dicho campo mediante una selección por atributos del campo "antigüedad", puesto que dicho campo contiene el año de construcción de la edificación.

En este sentido, Málaga posee un parque inmobiliario muy heterogéneo, tal y como muestran las siguientes imágenes (Figura 19 y Figura 20) de la zona centro, donde se puede observar la antigüedad de las edificaciones y la tipología constructiva respectivamente.

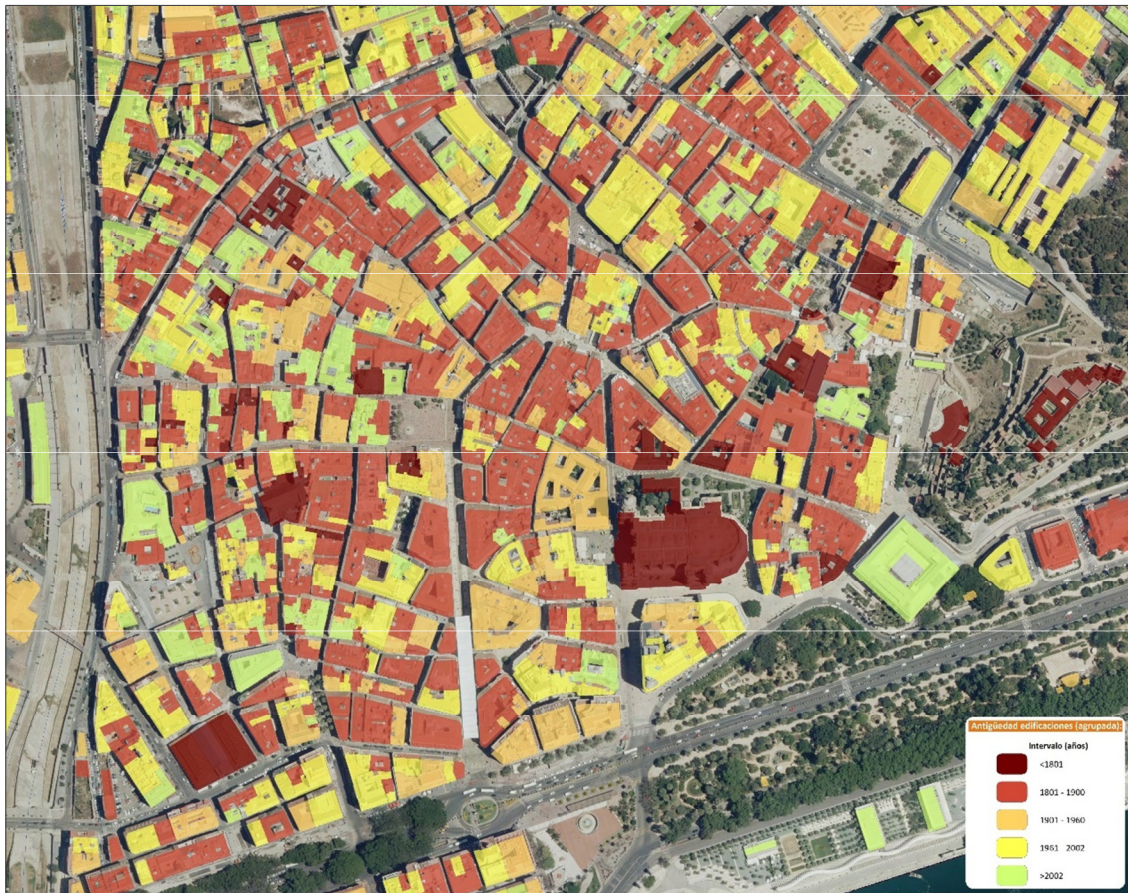


Figura 19. Intervalos de antigüedad de las edificaciones en el centro histórico de Málaga

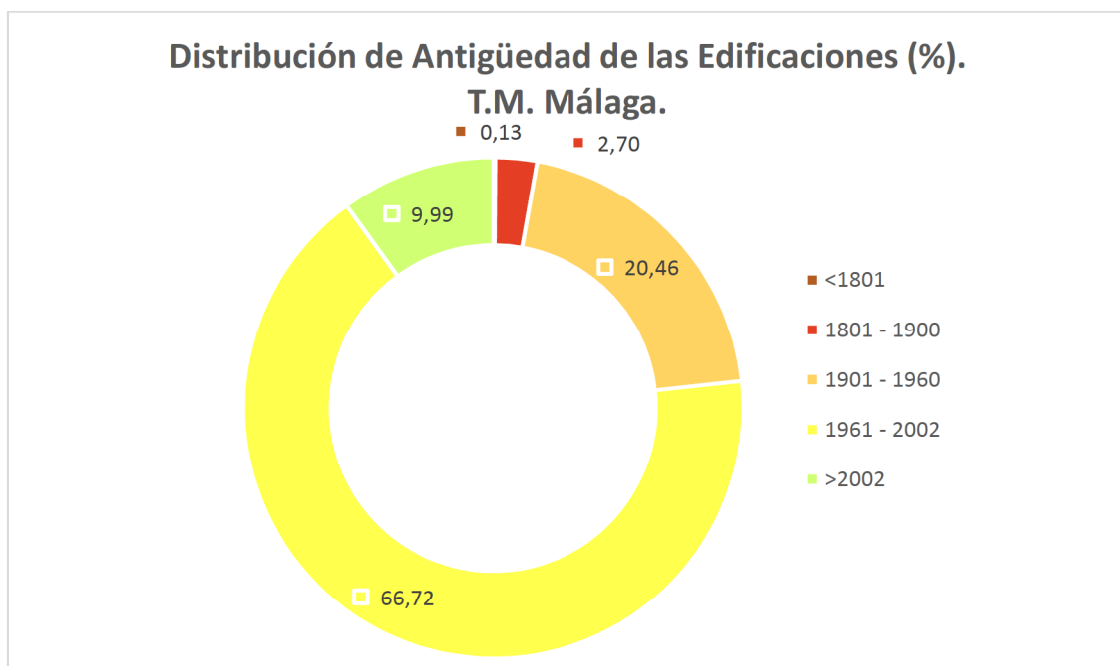


Gráfico 05. Distribución de la antigüedad de las edificaciones de la ciudad de Málaga, agrupadas por intervalos



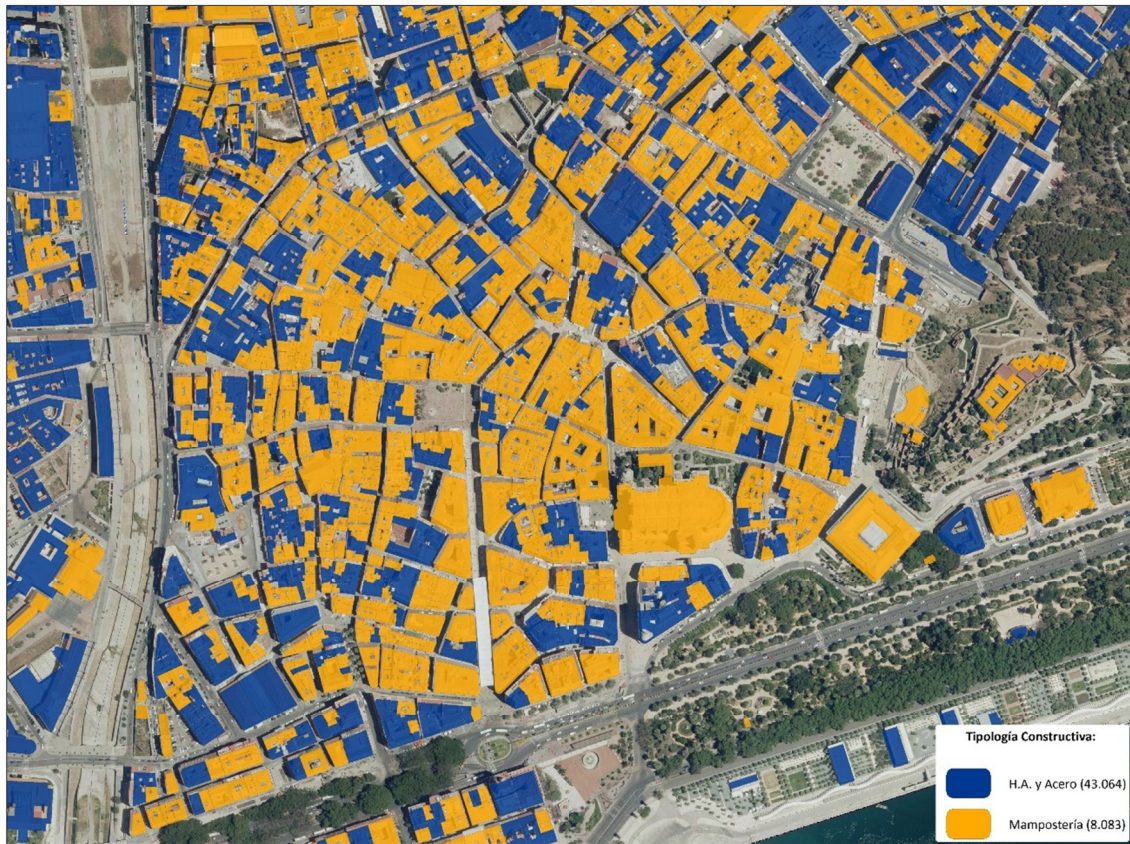


Figura 20. Tipologías constructivas de las edificaciones en el centro histórico de Málaga

### Distribución de los Sistemas Constructivos (%) T.M. Málaga.

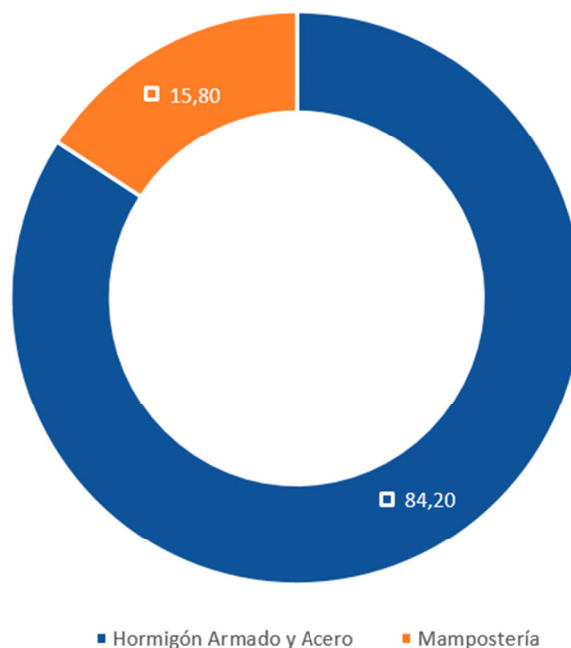


Gráfico 06. Distribución de los Sistemas Constructivos de las edificaciones de la ciudad de Málaga



Se puede ver con detalle la cartografía relativa a la antigüedad de edificaciones y de las tipologías constructivas de todas las edificaciones del T.M. de Málaga en el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA**.

### 5.1.2.3. El diseño.

Otro factor a tener en cuenta es el diseño en planta de la edificación, penalizando los diseños irregulares, asimétricos, con grandes voladizos o cambios bruscos de rigidez, irregularidad en altura o asimétrica distribución de las masas, también es fuertemente castigado por los sismos cuando no se aplican criterios de sismorresistencia. La Norma de Construcción Sismorresistente Española (NCSE-02) desaconseja diseños en planta con forma de "H", "L", "Z" o "V", así como la desproporcionalidad entre las dimensiones de la planta ó entre base y altura.

Además de las irregularidades geométricas y de masas, hay otros factores que destacan por su incidencia en los daños (Feriche 2012):

- a) **Pisos blandos o débiles:** la distribución irregular de elementos "no estructurales" en elevación, en edificios de apartamentos o de oficinas, con plantas inferiores libres para estacionamientos o comercios, puede provocar casos de colapso parcial. Asimismo, variaciones en el tamaño de las plantas en elevación, debido a escalonamientos lleva a cambios bruscos de masa y rigidez, que pueden dar lugar también a colapsos parciales.
- b) **Pilares cortos:** Aquellos de corta longitud, generalmente situados en planta baja, en los que se concentran los esfuerzos durante las sacudidas sísmicas ya que se comportan como un elemento casi rígido. También aquellos pilares que se comportan como cortos (pilares rigidizados mediante elementos confinantes como muros, petos, etc.) que rompen por su parte más flexible, donde se concentra toda la deformación.
- c) **Choque con edificios colindantes:** una separación insuficiente provoca el golpeteo entre los edificios durante el terremoto, dando lugar a veces a daños estructurales graves, sobre todo en edificios de diferentes alturas y con forjados no coincidentes y a distinto nivel. Además, en suelos blandos, los edificios altos pueden crear una gran deformación local del terreno con importantes desplazamientos laterales y verticales de éste que pueden afectar seriamente a los colindantes.
- d) **Orientación:** los edificios con dimensiones desproporcionadas tienen más probabilidades de sufrir daños, sobre todo, aquellos cuya dimensión mayor sea transversal a la dirección de propagación de la sacudida.

### 5.1.2.4. Ejecución de la edificación.

El uso de materiales de buena calidad y buenas técnicas de construcción repercutirá en una mejor resistencia de la edificación a las sacudidas que provoca un sismo, así como una mano de obra deficiente puede influir negativamente en la calidad de la construcción.





La calidad del mortero es hasta tal punto importante, que la mampostería con piedra puede culminar en un edificio fuerte si el mortero es de alta calidad. La mano de obra deficiente se traduce en descuidos y recortes de presupuestos, colocación y anclajes inadecuados de los segmentos de la estructura, etc. Por su parte, la ductilidad representa una medida de la capacidad de un edificio para tolerar cargas laterales en el rango post-elástico, disipando la energía del terremoto y creando daños controlados en forma dispersa o en forma localmente concentrada, dependiendo del tipo de construcción y del tipo de sistema estructural. La ductilidad puede estar directamente relacionada con el tipo de construcción: viviendas bien diseñadas y construidas con estructuras de acero tienen una alta ductilidad y por lo tanto resisten la vibración de forma adecuada gracias a la elasticidad del material, en comparación a los edificios más quebradizos o frágiles, tales como las viviendas de ladrillo o las mal diseñadas o ejecutadas (Feriche 2012).

### 5.1.3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN MÁLAGA

El Plan Sísmico de Málaga para determinar la Vulnerabilidad de sus edificaciones se basa en los parámetros que fija la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) y aplica el Método del Índice de Vulnerabilidad (IV).

#### 5.1.3.1. La Escala Macrosísmica Europea o EMS-98:

Es la escala de intensidad macrosísmica (Grüntal, 1998) utilizada en España y en el resto de Europa, esta considera que el concepto de vulnerabilidad es fundamental para la realización de escalas modernas de intensidad. La diferenciación entre tipologías constructivas es crucial para la evaluación de la vulnerabilidad.

Dicha escala logra agrupar las edificaciones en distintas categorías según sea su sistema estructural y la clase de materiales empleados en su construcción, siendo estos parámetros de vital importancia para resistir y absorber cargas laterales.

Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de piedra viva / roca de cantera	○				
	Adobe (ladrillo de tierra)	○—				
	Roca simple	—○				
	Roca masiva	—○—				
	Unidades de roca manufacturada	—○—				
	Ladrillo no reforzado, pisos de HA.		—○—			
	Reforzado o confinado			—○—		
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)		—○—			
	Armazón con un nivel moderado de DSR			—○—		
	Armazón con un alto nivel de DSR				—○—	
	Paredes sin DSR		—○—			
	Paredes con un nivel moderado de DSR			—○—		
	Paredes con un nivel alto de DSR				—○—	
ACERO	Estructuras de acero			—○—		
MADERA	Estructuras de madera		—○—			

○ Clase de vulnerabilidad más probable; — Rango probable;  
 - - - Rango de casos excepcionales, menos probables

Figura 21. Tipos de estructuras y clases de vulnerabilidad en la escala EMS-98

La introducción de las Clases de Vulnerabilidad en la escala de Intensidad EMS-98, proporciona la posibilidad de tratar distintos tipos de edificaciones y la variedad en sus rangos de vulnerabilidad con un solo esquema.

La anterior Figura 21 muestra los tipos de estructuras portantes y las clases de vulnerabilidad previstas por la EMS-98. El círculo representa la clase más probable, la línea continua el rango probable y la discontinua los casos excepcionales. Además, se aprecia como se han considerado cuatro grandes categorías definidas por los materiales dominantes empleados en la construcción de su sistema estructural resistente (Mampostería, Hormigón Armado, Metal y Madera). Dentro de cada categoría se consideran diversos tipos de edificaciones clasificados en función de las características de diseño y de construcción relacionándolos con su correspondiente clase de vulnerabilidad. Se observa cómo diferentes tipos de edificaciones pueden pertenecer a una misma clase de vulnerabilidad y, edificaciones con la misma tipología pueden presentar respuestas sísmicas diferentes (Barbat y Pujades, 2004).

Por otro lado, la EMS 98, contempla 5 grados de daño, del 1 (más leve) al 5 (más grave), describiendo con detalle las características de cada estado de daño para los dos grandes grupos de construcciones existentes en Europa: las de muros de carga y las de Hormigón Armado.

## CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS DE FÁBRICA (EMS-98)

### Grado 1: Daños de despreciables a ligeros

(Ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)

- I. Fisuras en muy pocos muros.
- II. Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento.
- III. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.



### Grado 2: Daños moderados

(Daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)

- IV. Grietas en muchos muros.
- V. Caída de trozos bastante grandes de revestimiento.
- VI. Colapso parcial de chimeneas.



### Grado 3: Daños de importantes a graves

(Daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)

- VII. Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.
- VIII. Se sueltan tejas del tejado.
- IX. Rotura de chimeneas por la línea del tejado.
- X. Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques, hastiales y tejados).



### Grado 4: Daños muy graves

(Daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)

- XI. Se dañan seriamente los muros.
- XII. Se dañan parcialmente los tejados y forjados.



### Grado 5: Destrucción

(Daños estructurales muy graves)

- XIII. Colapso total o casi total.

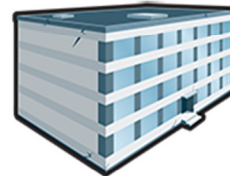


## CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO (EMS-98)

### Grado 1: Daños de despreciables a ligeros

(Ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)

- ◊IV. Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros.
- ◊V. Fisuras en tabiques y particiones.



### Grado 2: Daños moderados

(Daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)

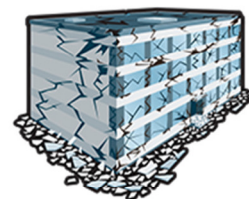
- ◊VI. Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales.
- ◊VII. Grieta en tabiques y particiones; caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.



### Grado 3: Daños de importantes a graves

(Daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)

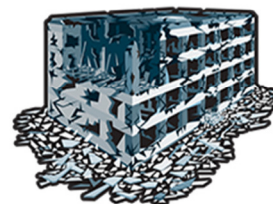
- ◊VIII. Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo.
- ◊XIX. Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.



### Grado 4: Daños muy graves

(Daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)

- ◊XX. Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares.
- ◊XXI. Colapso de algunos pilares o de una planta alta.



### Grado 5: Destrucción

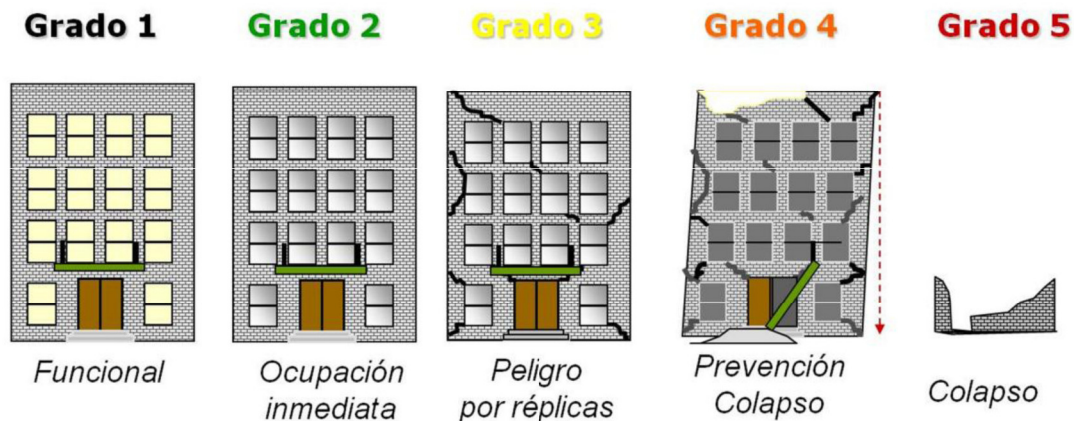
(Daños estructurales muy graves)

- ◊XII. Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo alas) del edificio.





También se puede utilizar el grado de daño para evaluar la funcionalidad de las edificaciones (Figura 22), así como para estimar las acciones que hay que llevar a cabo en la recuperación de las edificaciones afectadas.



**Figura 22.** Correlación del grado de daño con la funcionalidad de las edificaciones después de un terremoto. Tomada de Feriche (2012)

Con todo esto, distintos autores deducen matrices de probabilidad de daño para cada una de las diferentes clases de vulnerabilidad, estableciendo que el daño sigue una distribución tipo binomial que depende del número de estados de daño no nulo (N) y de un parámetro (d), que puede tomar valores entre 0 y 1.

Centrándonos ahora en el **análisis utilizado en este Plan**, para establecer la clase de vulnerabilidad a cada una de las edificaciones del T.M. de Málaga, es necesario relacionarla con la antigüedad de las mismas. Esto es posible debido a la consideración de que la vulnerabilidad está relacionada con el año de construcción y su periodo constructivo y de las normas sismorresistentes que eran de aplicación y obligado cumplimiento en ese momento.

Para establecer dichos periodos constructivos se han tenido en cuenta los plazos de vigencia de las diferentes normas sismorresistentes en España, es decir, los periodos de aplicación obligatoria de dichas normas.

Centrándonos ahora en la metodología SIG llevada a cabo para el análisis de vulnerabilidad de cada una de las edificaciones del T.M. de Málaga, hemos realizado los siguientes pasos:

- El inicio de partida para este análisis, es la obtención de la base de la información cartográfica catastral de referencia, obteniendo dicha base (Cartografía Catastral INSPIRE), del Servicio de descargas ATOM del conjunto de datos predefinidos según las especificaciones INSPIRE (Parcelas, Direcciones, Edificios), concretamente se han utilizado las capas “building” y “buildingpart”.
- Posteriormente, esta base de referencia necesita un tratamiento previo:
  - Conversión de los archivos GML a Shapefile.
  - En el caso del shapefile “buildingpart”, se hace una modificación de los campos de la tabla de atributos referentes a la Ref. Catastral, ya que viene

segregada por “partes”, obteniendo así una única Ref. Catastral para cada edificación, eliminando los sufijos “\_part1, \_part2, etc.”.

- La base catastral a nivel de edificación nos aporta, entre otros datos, la fecha de antigüedad de cada edificación. Esta nos sirve para establecer los periodos de antigüedad de cada edificación y conocer la tipología constructiva o la clase de vulnerabilidad según la EMS-98.
- Como paso previo, también se han revisado todas las edificaciones que no disponen de la fecha de antigüedad (que son muy pocas), para lo que se ha inspeccionado su fecha de antigüedad mediante la revisión histórica de imágenes de satélite, y si aun así no se dispone de fecha de antigüedad, se le ha asignado el año medio del sector o bien el año de las edificaciones colindantes (se han dado muy pocos casos).
- Finalmente, una vez completada la capa de referencia catastral con todas las fechas de antigüedad, se procede a relacionar la clase de vulnerabilidad de la EMS-98 con los periodos de antigüedad de las edificaciones, habiendo establecido estos periodos en función de los periodos de vigencia de las diferentes normas sismorresistentes, tal y como se ha citado anteriormente.
- Para ello, procedemos a incluir dos nuevos campos en nuestra capa base de edificaciones, uno para los periodos de antigüedad establecidos y otro para la clase de vulnerabilidad EMS-98. Estos campos se completan mediante una selección por atributos, mediante el campo antigüedad.

A continuación se muestran los periodos que hemos establecidos para nuestro Plan Sísmico de Málaga, y la relación con la clase de vulnerabilidad establecida por la EMS-98:

Periodos de antigüedad	Clase vulnerabilidad (EMS-98)
<1800	A
1801-1900	B
1901-1960	C
1961-2002	D
>2002	E

**Tabla 17.** Relación de la clase de vulnerabilidad (EMS-98) asociado a los periodos de antigüedad (P. Civil Málaga).

De esta forma, utilizando la base cartográfica del Catastro (Inspire) y sus datos asociados, hemos podido establecer para cada una de las edificaciones del T.M. de Málaga, una clase de vulnerabilidad asociada a la EMS-98.

Este primer paso, nos permitirá posteriormente, relacionar cada edificación con los valores medios de vulnerabilidad, calculado a partir del Índice de Vulnerabilidad.



### 5.1.3.2. El método del Índice de Vulnerabilidad (IV):

Este método evalúa la vulnerabilidad de una edificación mediante un índice, en cuyo caso, dicho índice define la pertenencia de una determinada edificación a una clase específica de vulnerabilidad según la EMS-98. Los valores de este índice son arbitrarios y representan, únicamente, puntuaciones que cuantifican o valoran el comportamiento sísmico de la edificación. Este método, fue adoptado por el Proyecto Risk-UE para la simulación y análisis de escenarios sísmicos, y ha sido el método adaptado y aplicado en la Tesis de Feriche de 2012.

Así pues el Plan Sísmico de Málaga para calcular la Vulnerabilidad comienza empleando las determinaciones que marca la EMS-98 (de matrices de probabilidad de daño, basadas en las escalas de intensidad y tipologías de edificaciones o clases de vulnerabilidad) , y continúa aplicando el método del índice de vulnerabilidad. Esta metodología empleada nos permite un gran nivel de detalle hasta el punto de analizar todas y cada una las edificaciones de Málaga y que permite captar, además de sus cualidades estructurales, aquellas que se derivan de su geometría en planta, en altura y de su posición.

Hay que destacar también, que el Plan Sísmico de Málaga además de basarse y tomar como referencia la Escala Macrosísmica Europea EMS-98 y el Proyecto Risk-UE, la NCSE-02, incluye consideraciones de las Tesis de Lantada (2007) y Feriche (2012) a las que se hace referencia en cada punto. Igualmente el equipo redactor del Plan introduce modificaciones en la metodología fruto de los estudios y análisis realizados en el Servicio de Protección Civil del Ayuntamiento de Málaga, lo cual nos permite realizar la evaluación de todas y cada una de las edificaciones del término municipal de Málaga, sin tener que recurrir a aproximaciones o extrapolaciones derivadas de tomas de muestras, el uso de software GIS de información geográfica real con la implementación de las bases de datos procedentes de centros oficiales, como es el catastro, el padrón municipal y otros organismos nos permite llegar al nivel de detalle deseado.

En esta metodología, el Índice de Vulnerabilidad (IV) toma valores ente 0 y 1:

- Valores próximos a 0: Corresponde a las edificaciones menos vulnerables.
- Valores cercanos a 1: Corresponde a las edificaciones más vulnerables.

#### I. Clasificación de Tipologías Constructivas en función de las Clases de Vulnerabilidad según la EMS-98:

Para el estudio de las tipologías se ha seguido el criterio de la Matriz de tipologías constructivas definidas por Milutinovic y Trendafiloski (2003) contempladas en el proyecto Risk-UE (2003), que consiste en agrupar en una serie de tipologías constructivas las edificaciones con unas características estructurales y comportamiento similares y asignarles valores de vulnerabilidad estimada, en el Plan Sísmico de Málaga solo vamos a trabajar con los de vulnerabilidad más probables o característicos (**IV**), que además hemos modificado o corregido para incluir su relación con las Clases de Vulnerabilidad, obteniendo así una Clasificación de Tipologías Constructivas en función de las Clases de Vulnerabilidades según la EMS-98, tal y como se recoge en la siguiente Tabla.

## Servicio de Protección Civil

En base a periodos de antigüedad y utilizando la base del Catastro de Málaga de todos los inmuebles, tenemos la antigüedad real de cada edificación, así como su tipología constructiva asignada por su antigüedad, y relacionamos las distintas tipologías a las clases de Vulnerabilidad de la EMS-98, según la siguiente Tabla.

Matriz de tipologías (BTM) de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)			EMS-98 – Protección Civil del Ayto. de Málaga		
Tipología	Descripción	Índice vulnerabilidad Valor medio (IV)	Relación clases vulnerabilidad (Málaga)		
M1.1	Cascotes y piedras ( <i>Rubble stone, fieldstone</i> )	0,873	A		
M1.2	Piedra sencilla ( <i>Simple stone</i> )	0,740	B		
M1.3	Sillería ( <i>Massive stone</i> )	0,616	C		
M2	Adobe ( <i>Adobe</i> )	0,840	A		
M3.1	Suelos de madera ( <i>Wooden slabs</i> )	0,740	B		
M3.2	Paredes de mampostería ( <i>Masonry vault</i> )	0,776	B		
M3.3	Forjados mixtos de acero y mampostería ( <i>Composite steel and masonry slabs</i> )	0,704	B		
M3.4	Forjados de losas de hormigón armado ( <i>Reinforced concrete slabs</i> )	0,616	C		
M4	Muros de mampostería confinados o Reforzados ( <i>Reinforced or confined masonry walls</i> )	0,451	D		
M5	Totalmente reforzada ( <i>Overall strengthene</i> )	0,694	C		
RC1	Estructura de Hormigón ( <i>Concrete Moment Frames</i> )	0,442	D		
RC2	Muros de cortante de hormigón ( <i>Concrete shear walls</i> )	0,386	E		
RC3.1	Muros de relleno regulares ( <i>Regularly infilled walls</i> )	0,402	D		
RC3.2	Estructuras irregulares ( <i>Irregular frames</i> )	0,522	D		
RC4	Sistemas duales de Hormigón armado ( <i>RC Dual systems - RC frame and wall</i> )	0,386	E		
RC5	Hormigón pre-colado ( <i>Precast Concrete Tilt-Up Walls</i> )	0,384	E		
RC6	Estructuras de hormigón pre-colado, muros de contante de homigón ( <i>Precast C. Frames, C. shear walls</i> )	0,544	D		
S1	Estructuras de acero ( <i>Steel Moment Frames</i> )	0,363	E		
S2	Estructuras atirantadas de acero ( <i>Steel braced Frames</i> )	0,287	E		
S3	Metálicas con relleno de mampostería ( <i>Steel frame+unrein. mas. infill walls</i> )	0,484	E		
S4	Metálicas con muros de cortante de hormigón ( <i>Steel frame+cast-in-place shear walls</i> )	0,224	E		
S5	Sistemas compuestos de metal y Hormigón Armado ( <i>Steel and RC composite system</i> )	0,402	E		
W	Estructuras de madera ( <i>Wood structures</i> )	0,447	D		
*Clases de vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E

**Tabla 18.** Relaciona la clase de vulnerabilidad de la EMS-98 con los valores medios del Índice de Vulnerabilidad ( $V_i^*$ ) tesis de Milutinovic y Trendafiloski (2003), mediante la asignación de tipologías y antigüedad propuesta por P. Civil



A continuación, tomamos de la Tabla 18 las clases de vulnerabilidad que son iguales y las agrupamos para obtener los valores medios de las distintas tipologías, que se muestran en la siguiente tabla en el que obtenemos el valor medio final de vulnerabilidad ( $V_i^{*F}$ ) que será el que vamos a considerar en el Plan Sísmico de Málaga, y que previamente hemos creado como un campo nuevo en nuestra capa base de edificaciones:

Clase vulnerabilidad EMS-98	Sumatorio de valores medios de ( $V_i^*$ ) para una misma clase de vulnerabilidad	VALOR MEDIO RESULTANTE ( $V_i^{*R}$ ) (Málaga)
A	0,873+0,840	<b>0,8565</b>
B	0,740+0,740+0,776+0,704	<b>0,740</b>
C	0,616+0,616+0,694	<b>0,642</b>
D	0,451+0,442+0,402+0,522+0,544+0,447	<b>0,468</b>
E	0,386+0,386+0,384+0,363+0,287+0,484+0,224+0,402	<b>0,3645</b>

**Tabla 19.** Relación de la clase de vulnerabilidad (EMS-98) con los valores medios del Índice de Vulnerabilidad calculados por el Servicio de Protección Civil del Ayuntamiento de Málaga

Una vez establecida dicha relación y recalculados los valores medios de vulnerabilidad, podemos asociarlos a cada edificación por el nexo común entre ellos, de la clase de vulnerabilidad según la EMS-98. Todo ello, gracias nuestra capa base de edificaciones donde tenemos todos estos valores asociados para cada una de las edificaciones.

De esta forma, ya hemos conseguido asociar a cada edificación del Catastro de Málaga (Ref. Catastral), una clase de vulnerabilidad según la EMS-98 y un valor medio resultante de vulnerabilidad.

CLASE DE VULNERABILIDAD	RANGO DE VALORES (IV) (Giovinnazzi y Lagomarsino, 2003)	VALOR MEDIO FINAL ( $V_i^{*F}$ )	RANGO DE VALORES DEFINIDO POR P. CIVIL DE (MÁLAGA) ( $IV_{Total}$ )
A	$IV > 0,82$	<b>0,8565</b>	$IV > 0,85$
B	$0,66 < IV \leq 0,82$	<b>0,740</b>	$0,69 < IV \leq 0,85$
C	$0,50 < IV \leq 0,66$	<b>0,642</b>	$0,53 < IV \leq 0,69$
D	$0,34 < IV \leq 0,50$	<b>0,468</b>	$0,37 < IV \leq 0,53$
E	$\leq 0,34$	<b>0,3645</b>	$\leq 0,37$

**Tabla 20.** Correlación entre la clase de vulnerabilidad de la EMS-98 y el Índice de vulnerabilidad, adaptado con los valores promedios analizados para el T.M. de Málaga.



A continuación, se procede a estudiar los parámetros de los Modificadores que proponemos para Málaga que van a afectar al Índice de Vulnerabilidad (aumentándolo o reduciéndolo), que nos permitirá obtener el **Índice de Vulnerabilidad Total (IV<sub>Total</sub>)**, todo ello en base al criterio de Risk-UE (2003), la Tesis de Feriche (2012) y a los criterios establecidos desde P. Civil en base a nuestros estudios.

Desde el punto de vista de la metodología SIG, disponemos hasta el momento, de una capa de información geográfica con una tabla de atributos con campos como (Referencia Catastral, antigüedad, periodos de antigüedad según la normativa sismorresistente de aplicación en ese momento, clase de vulnerabilidad según la EMS-98, tipología constructiva estructural asociadas a la edad de la edificación, valor promedio final de vulnerabilidad) y todo eso pormenorizado para cada edificación del T.M. de Málaga.

## II. Parámetros modificadores de la vulnerabilidad:

El Índice de Vulnerabilidad característico de cada edificación en particular, se evalúa según una ecuación, donde se modifica el índice de vulnerabilidad básico de la clase a la que pertenece la edificación, afectado por un **Modificador Regional (Mr)**, y una serie de **Modificadores de Comportamiento (Mc)**, basado en los criterios de la Tesis de Feriche (2012).

Para poder llevar a cabo todo lo anterior para cada una de las edificaciones, es necesario incluir en nuestra capa base de edificaciones, un campo nuevo para cada tipo de modificador. Por un lado se crea el campo **(Mr)** con el modificador regional, y por otro, se crean 9 campos más para los modificadores de comportamiento (de **Mc1** a **Mc9**).

En este punto de la metodología, cabe señalar que se ha realizado un estudio “in situ” y pormenorizado de las edificaciones catalogadas como Bienes de Interés cultural (BIC) del T.M. de Málaga, así como de una serie de edificaciones singulares o de especial importancia con características particulares, donde se ha llevado a cabo una evaluación de su vulnerabilidad aplicando la metodología explicada. De esta forma, las edificaciones evaluadas “in situ” como otras que se irán evaluando de forma pormenorizada, se irán incorporando en futuras actualizaciones del Plan Sísmico de Málaga.

Por lo tanto, este Plan Sísmico queda abierto a futuras incorporaciones de estudios y evaluaciones “in situ” de nuevos edificios de especial importancia y así continuar con la ampliación y actualización de sus valores.

El listado completo de edificaciones visitadas “in situ” se puede ver en el **ANEXO III: LISTADO DE EDIFICACIONES VISITADAS Y EVALUADAS.**

A continuación, se enumeran y describen los distintos modificadores:

**a) MODIFICADOR REGIONAL (Mr).**

Valora la calidad particular de determinadas tipologías de edificios según la región donde se encuentran y se asigna en función del juicio experto y/o de la vulnerabilidad observada (Lantada, 2007).

A pesar de que lo que se evalúa con este modificador es la calidad de la técnica de construcción, se han tenido en cuenta los períodos de vigencia de las diferentes normas sismorresistentes y el año de construcción del edificio que está asociado al nivel de exigencias o requerimientos reflejados en los códigos de edificación y, por tanto, a la ejecución (Feriche, 2012).

En el caso de Málaga, hemos optado por asignar a las distintas tipologías constructivas la correspondiente clase de vulnerabilidad de la (EMS-98), tal y como se explicó anteriormente.

Valores asignados al modificador regional para las edificaciones de Málaga (Mr)						
Período construcción	Normativas Sísmicas Españolas aplicables	Calidad de la Práctica constructiva	Nivel de diseño sísmico	Modificador Regional Málaga		
				Estructura Muraria	Estructura H.A. y Acero	
				Clase vulnerabilidad (EMS-98)		
B	C	D				
≤1925	-	sin datos	No	+0,14	+0,08	-
1926-1945	-	Deficiente	No	+0,12	+0,08	-
1946-1960	-	Deficiente	No	+0,10	+0,08	+0,14
1961-1969	MV-101	Deficiente	Bajo	+0,08	+0,08	+0,12
1970-1976	PGS-1	Aceptable	Bajo	-	+0,08	+0,10
1977-1996	PDS-1	Aceptable	Bajo	-	+0,08	+0,08
1997-2004	NCSE-94	Aceptable	Moderado	-	+0,08	+0,06
>2004	NCSE-02	Aceptable	Moderado	-	+0,08	-

**Tabla 21.** Modificador Regional (Mr) para Málaga adaptado con la clase de vulnerabilidad (EMS-98) basado en la Tesis de Feriche, 2012.

Este modificador se aplica para todas las edificaciones existentes en el T.M. de Málaga, usando la cartografía base y la Referencia Catastral de todos y cada uno de las edificaciones del T.M. de Málaga, mediante software GIS.

## b) MODIFICADOR DE COMPORTAMIENTO ( $M_c$ ).

Valoran las características particulares de cada edificación y tienen en cuenta los efectos debidos a diferentes factores, como pueden ser el nº de plantas, el estado de conservación, morfología del suelo, irregularidades en planta o en altura, posición en agregado, etc.

Se aplican a las dos tipologías predominantes: muros de carga por un lado y hormigón armado por otro, pero siguiendo el criterio de Lantada (2007), a los edificios con estructura metálica y de madera se les aplica, respectivamente, los modificadores correspondientes a los edificios de mampostería y hormigón (Feriche, 2012).

En el Plan Sísmico de Málaga, tras la revisión de las edificaciones “in situ” visitados, como ya se ha explicado anteriormente se les aplicarán todos los modificadores que se han expuesto, para el resto de edificaciones del T.M. de Málaga que son unos 52.000 según el Catastro, aplicaremos los modificadores de los parámetros de aquellos factores de los que hemos obtenido información a través de las bases de datos de organismos oficiales, esos factores son: la antigüedad, el sistema constructivo asignado según año de construcción, las normas sismorresistente de aplicación en la fecha de su construcción, el nº de plantas, su conservación, y por último la pendiente del terreno sobre el que está construido, o sea, que además del Modificador Regional ( $M_r$ ), se aplican los Modificadores de Comportamiento ( $M_{c_1}$ ), ( $M_{c_2}$ ), ( $M_{c_3}$ ) y ( $M_{c_9}$ ).

**b.1) Modificador por estado de conservación o depreciación ( $M_{c_1}$ ):** Este modificador penaliza la presencia de patologías en la estructura como consecuencia del paso del tiempo. Las directrices del proyecto Risk-UE (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002) proponen cuantificar este modificador en función de la edad del edificio sobre la base de que los edificios se deterioran con el tiempo y por tanto sufren una progresiva pérdida de su capacidad de resistencia (Feriche, 2012).

Además, se ha tenido como referencia el dato sobre el estado de conservación de las edificaciones presente en la Cartografía Catastral INSPIRE, aplicando el campo “ConditionofConstruction” como base para todas las edificaciones de Málaga.

La equivalencia entre el dato de conservación que aparece en la Cartografía Catastral Inspire, con el modificador por conservación  $M_{c_1}$  es la que se muestra a continuación:

Catastro (INSPIRE)	Modificador por conservación ( $M_{c_1}$ )
Functional (funcional)	Buen mantenimiento
Declined (deficiente)	Mal mantenimiento
Ruin (ruinoso)	Muy deficiente/ruinas

**Tabla 22.** Equivalencias entre los datos de conservación de la cartografía catastral Inspire y el modificador ( $M_{c_1}$ ).



Modificador por conservación ( $M_{C_1}$ )				
Conservación	Estructura Muraria		Estructura Horm. Armado / Acero	
	Edificios $\leq 1925$	Edificios $> 1925$	Edificios $\leq 1996$	Edificios $> 1996$
Buen Mantenimiento	0	-0.04 (rehabilitadas)	0	-0,04
Mal mantenimiento	+0,04	+0,04	+0,04	+0,02
Muy deficiente/Ruinas	+0,08	+0,06	+0,06	+0,04

**Tabla 23.** Modificador de conservación ( $M_{C_1}$ ) basado en Giovinazzi y Lagomarsino



**Figura 23.** Estado de conservación de las edificaciones en el Centro histórico de Málaga.

**b.2) Modificador por número de plantas ( $M_{C_2}$ ):** Estos modificadores se aplican con criterios diferentes para las dos tipologías dominantes (Estructuras Murarias, Estructuras de Hormigón Armado y/o Acero). Así, para cuantificar el modificador de edificaciones de muros de carga se tiene en cuenta, además del número de plantas de la edificación, su año de construcción (edificaciones construidas antes y después de 1925) y las intervenciones a nivel estructural (refuerzos/rehabilitaciones). Puesto que este modificador está concebido para mampostería no reforzada, no penaliza a las rehabilitadas o reforzadas. Para las construcciones de hormigón armado, además del número de plantas, se tiene en cuenta el nivel de diseño sismorresistente (bajo para los  $\leq 1996$  y medio para los posteriores) (Feriche, 2012).

Modificador por número de plantas ( $M_{C_2}$ )				
Altura o nº de plantas	Estructura Muraria		Estructura Horm. Armado / Acero	
	Edificios $\leq$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $\leq$ 1996	Edificios $>$ 1996
1 - 2	-0,02	-0,04	-0,04	-0,04
3 - 5	+0,02	0 (rehabilitadas)	0	0
$\geq$ 6	+0,06	+0,04	+0,06	+0,04

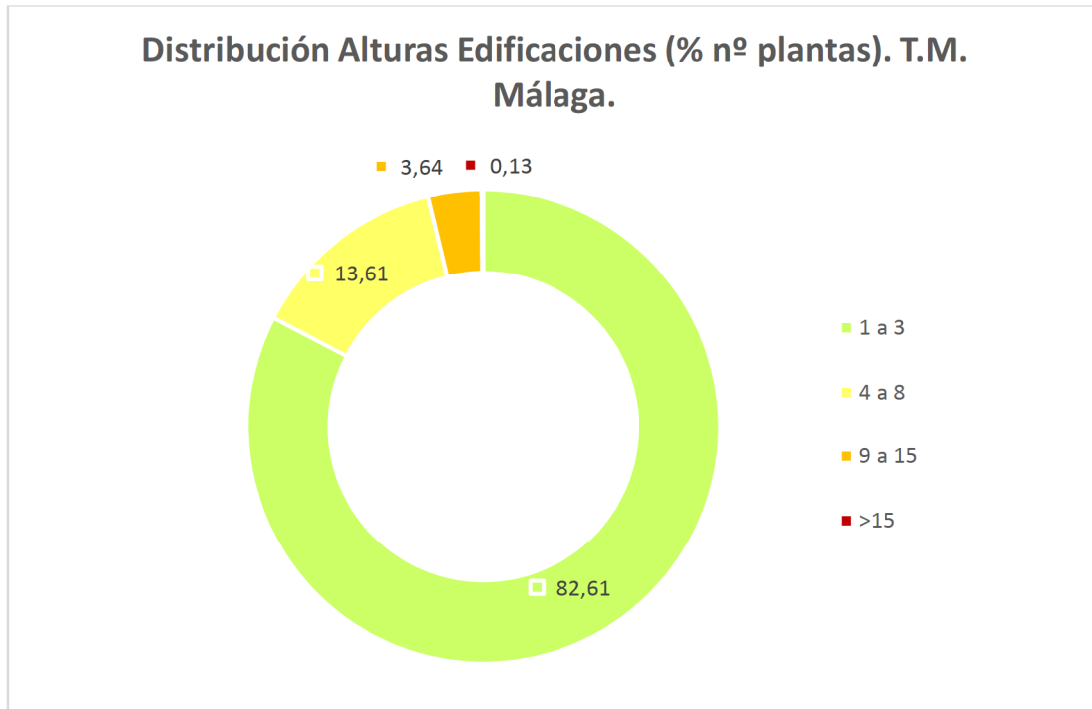
**Tabla 24.** Modificador de N.º de plantas ( $M_{C_2}$ ). Basado en Tesis Feriche (2012)

La aplicación de este modificador en nuestro SIG, se ha llevado a cabo haciendo un trabajo previo sobre la capa base del catastro “building” y poder unirla a la capa “buildingpart”, ya que esta última es la que tiene los valores de alturas o número de plantas sobre rasante (pero de cada parte de las edificaciones), por lo que necesitamos un único valor de altura o de número de plantas sobre rasante para cada edificación y posteriormente llevar ese valor a la capa “building”.

Esto se consigue realizando los siguientes pasos:

- Conversión de la capa “buildingpart” de polígonos a puntos, de tal forma que cada polígono quede representado por un punto en el centro de cada polígono. Con esto se pretende facilitar el siguiente proceso de “Unión Espacial”, hay que tener en cuenta que trabajamos con sistemas georeferenciados GIS.
- Proceso de “Unión Espacial” de la capa “buildingpart” de tipo puntual con la capa “building” de tipo poligonal, para así transferir a esta última capa los valores de alturas o nº de plantas sobre rasante de cada edificación, pero únicamente tomando el valor más alto. Por lo tanto, trabajaremos con un único valor (el mayor) de altura o nº de plantas sobre rasante para cada edificación, o sea aplicamos un criterio para unificar una edificación que tiene una misma referencia catastral para varios volúmenes edificatorios, tomaremos el mayor o más alto para ese conjunto, para estar del lado de la seguridad en todo momento.
- Se revisan los resultados en todo el municipio de Málaga, comprobando los valores de las alturas máximas con edificaciones conocidas y se revisan las edificaciones atípicas que por sus características especiales se sale de lo normal (estadios, pabellones, monumentos, etc.) no coinciden su nº máximo de plantas con su altura real. Además, se copian y fusionan las edificaciones más representativas que no aparecían en la capa “building” pero si en la “buildingpart”.
- Se crea dos nuevos campos “Planta\_MAX” con el valor máximo de plantas de cada edificación y “Grupos\_Plantas” con la agrupación por número de plantas (0, 1-3, 4-8, 9-15, >15).

El siguiente gráfico resulta interesante para saber la distribución de las edificaciones por grupos de alturas en Málaga, destacando los grupos de 1 a 3 plantas (de 3 a 9 metros de altura) que constituyen más del 80 % de las edificaciones existentes en el término municipal de Málaga.



**Gráfico 07.** Distribución de las alturas de las edificaciones de la ciudad de Málaga, agrupadas por intervalos de plantas (1 planta = 3 metros aproximadamente)

Este modificador se aplica para todas las edificaciones existentes en el T.M. de Málaga, usando la cartografía base catastral del municipio y un programa GIS.

**b.3) Modificador por Sistema Estructural ( $M_{c3}$ ):** Las estructuras de mampostería o fábrica de ladrillo/piedra no reforzadas difieren unas de otras en función de la calidad constructiva de las mismas. Estos factores condicionan el comportamiento dinámico del edificio ante una sacudida sísmica por lo que han de tenerse en cuenta en la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones. Este modificador sólo se aplica a las edificaciones de mampostería penalizando el poco grosor de los muros (< 25 cm), la distancia excesiva entre muros de carga (> 4,00 m), el mal estado en la composición de los muros, o la mala conexión entre forjado y muro (solo apoyo sin zunchado perimetral). Respecto al resto de las estructuras no se tendrá en cuenta este modificador (Feriche, 2012).



Modificador por sistema estructural ( $M_{C3}$ )				
Sistema estructural	Estructura Muraria		Estructura Horm. Armado / Acero	
	Edificios $\leq$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $\leq$ 1996	Edificios $>$ 1996
poco grosor muros	+0,04	-0.04	0	0
mucha distancia entre muros		(rehabilitada)		
mal atado de muros		+0,04		
mala conexión forjado-muros				

**Tabla 25.** Modificador por sistema estructural ( $M_{C3}$ ). Basado en Tesis Feriche (2012)

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de una visita con revisión y toma de datos “in situ”.

**b.4) Modificador por Irregularidad en altura ( $M_{C4}$ ):** La irregularidad en altura ha sido claramente identificada como causa de incremento del daño en caso de terremotos (Feriche, 2012), sobre todo los problemas de “pilar corto” y de “piso débil o piso blando” y planta diáfana. Con este modificador se pretende evaluar estos dos problemas en función de la tipología constructiva.

- **Pisos blandos o débiles:** Se considera así a la distribución irregular de elementos "no estructurales" en elevación, en edificios de apartamentos o de oficinas, con plantas inferiores libres para estacionamientos o comercios, que puede provocar casos de colapso parcial. Asimismo, variaciones en el tamaño de las plantas en elevación, debido a escalonamientos lleva a cambios bruscos de masa y rigidez, que pueden dar lugar también a colapsos parciales (Feriche, 2012).
- **Pilares cortos:** Son aquellos de corta longitud, generalmente situados en planta baja, en los que se concentran los esfuerzos durante las sacudidas sísmicas ya que se comportan como un elemento casi rígido. También aquellos pilares que se comportan como pilares rigidizados mediante elementos confinantes como muros, petos, etc. que rompen por su parte más flexible, donde se concentra toda la deformación (Feriche, 2012).

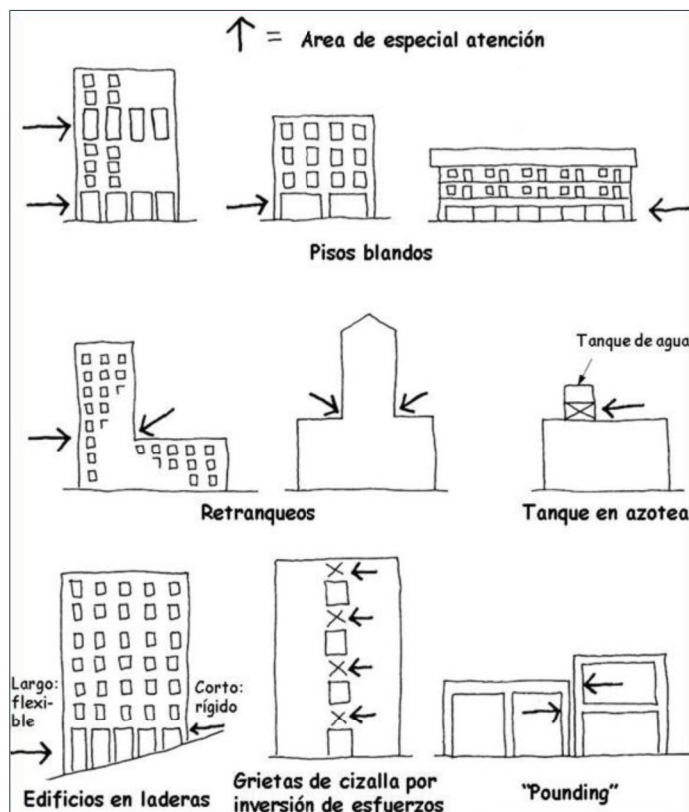


Figura 24. Ejemplo de diseños irregulares en altura y daños más característicos. (Feriche, 2012)

Modificador por irregularidad en altura ( $M_{c4}$ )				
Irregularidades en altura	Estructura Muraria		Estruct. Hormigón Armado / Acero	
	Edificios $\leq 1925$	Edificios $> 1925$	Edificios $\leq 1996$	Edificios $> 1996$
pisos blandos, planta diáfana	+0,04	+0,04	+0,06	+0,06
retranqueos en altura, torreones	+0,02	+0,02	+0,02	+0,02
pilares cortos	-	-	+0,08	+0,06

Tabla 26. Modificador por irregularidad en altura ( $M_{c4}$ ) basado en la tesis de Feriche (2012)

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de visita y revisión "in situ".

**b.5) Modificador por Irregularidad en planta ( $M_{c5}$ ):** La forma y disposición en planta de los edificios son determinantes en su comportamiento ante excitaciones sísmicas. La Norma de Construcción Sismorresistente Edificación (NCSE-02) desaconseja diseños en planta cuya forma sea en: "H", "L", "Z" o "V", así como la desproporcionalidad entre las dimensiones de la planta ó entre base su altura. Los edificios de planta regular presentan un comportamiento sísmico mejor que los que tienen una planta de geometría irregular.



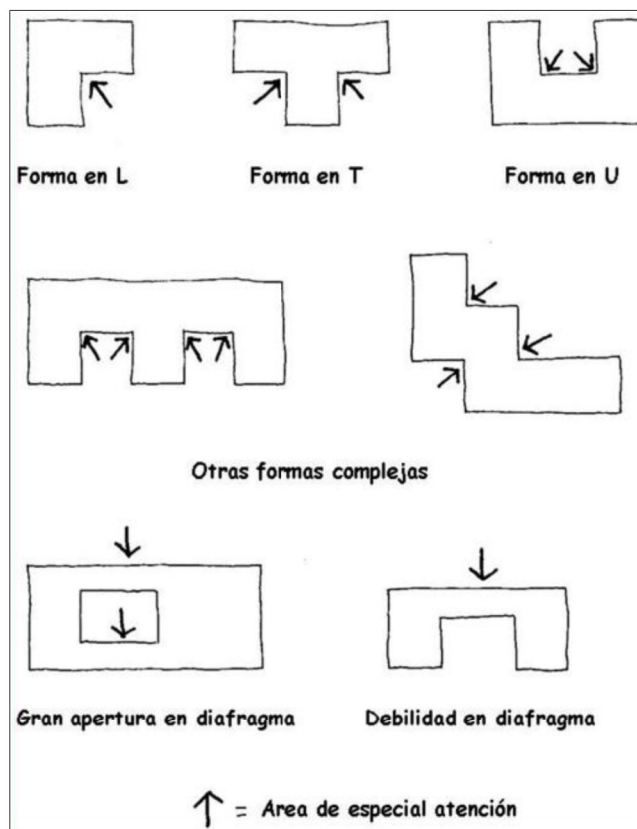


Figura 25. Ejemplo de diseños irregulares en planta y daños más característicos. (Feriche, 2012)

Con este modificador se pretende penalizar a aquellos edificios que presentan desproporciones en sus dimensiones de la planta, debido a que podrían dar lugar a la aparición de fenómenos tales como la torsión o como las concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y de rigidez (Feriche, 2012).

Según Lantada (2007), la forma poligonal de un objeto geográfico se puede definir por medio de la relación de la posición y distancia de los puntos de su perímetro respecto a su centro de masas. De los diferentes métodos existentes para evaluar la geometría en planta del edificio, Lantada (2007) utilizó el denominado Razón de Compacidad/Circularidad (Compacness Ratio, RC), definido como la raíz cuadrada de divisor entre A y  $A_c$ , por la ecuación (siendo A el área del polígono estudiado, y  $A_c$  la del círculo que tiene el mismo perímetro que el polígono):

$$RC = \sqrt{\frac{A}{A_c}}$$

El índice de compacidad vale 1 cuando el polígono es un círculo, y toma valores entre 1 y 0 para cualquier otra forma. Cuanto más diferente de un círculo sea el polígono estudiado, más se acercará a 0 el valor de RC. Este índice se fundamenta en la comparación de las formas de los objetos problemáticos con las de figuras geométricas regulares (Feriche, 2012).

Modificador por irregularidad en planta ( $M_{c5}$ )				
Irregularidades en planta	Estructura Muraria		Estr. Hormigón Armado / Acero	
	Edificios $\leq$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $\leq$ 1996	Edificios $>$ 1996
RC $<$ 0,5	+0,04	+0,04	+0,02	+0,02
0,5 $>$ RC $<$ 0,7	+0,02	+0,02	+0,01	+0,01

**Tabla 27.** Modificador por irregularidad en planta ( $M_{c5}$ ) basado en la tesis de Feriche (2012)

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de una revisión “in situ”.

**b.6) Modificador por Longitud de la Fachada ( $M_{c6}$ ):** Existen numerosas edificaciones que podrían carecer de conexión entre los muros de la fachada y el resto de los elementos estructurales, bien porque siempre han carecido de ellos, bien porque puede tratarse de un paño tan grande que los puntos de anclaje resultarían insuficientes.

Castelló y Mañà (2004) llegaron a la conclusión de que una fachada libre de 20 metros de longitud puede colapsar al sufrir una aceleración tan baja como 0.04 g, mientras que en otra de 15 metros el colapso no se produce hasta los 0.1g. Basándonos en este trabajo y teniendo en cuenta que la aceleración sísmica básica para la ciudad de Málaga es de 0.22g, se considera un modificador por longitud de fachada resultante de la fórmula de Castelló y Mañà (2004):

$$M_f = \frac{0,04}{15} \times \text{Longitud fachada} - 0,04; \text{ para longitud de fachada } > 15 \text{ m}$$

Modificador por longitud de fachada ( $M_{c6}$ )				
Longitud fachada	Estructura Muraria		Estr. Horm. Armado / Acero	
	Edificios $<$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $<$ 1996	Edificios $>$ 1996
20 m	-0,013	-0,013	0	0
25 m	+0,026	+0,026	0	0
30 m	+0,04	+0,04	0	0

**Tabla 28.** Modificador por longitud de fachada ( $M_{c6}$ ), basado en Castelló y Mañà (2004), Tesis Feriche (2012)

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de una visita y revisión “in situ”.

**b.7) Modificador por diferencia de altura con los colindantes ( $M_{c7}$ ):** Una separación insuficiente provoca el golpeo entre los edificios durante el terremoto, dando lugar, a veces, a daños estructurales graves, sobre todo en edificios de diferentes alturas y con forjados a distinto nivel. Además, en suelos blandos, los edificios altos pueden crear una gran deformación local del terreno con importantes desplazamientos laterales y verticales de éste que pueden afectar seriamente a los colindantes. Estas discontinuidades en los materiales y en la geometría de los edificios contiguos así como la posición relativa de un edificio particular dentro de un agregado de edificios suelen ser causa de daño sísmico adicional, aspecto que Lantada (2007) analizó y cuantificó en función de las diferencias entre el número de plantas de un edificio y el de los dos edificios adyacentes.

La figura siguiente esquematiza los casos considerados y cuantifica estos modificadores, que sólo se aplicarán en el caso de que la diferencia de plantas sea  $\geq 2$  (Feriche, 2012).

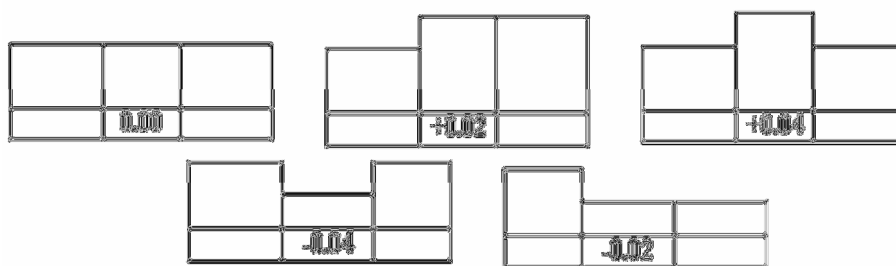


Figura 26. Modificadores por diferencia de alturas (Lantada, 2007).

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de una revisión “in situ”.

**b.8) Modificador de posición del edificio en la manzana ( $M_{c8}$ ):** La localización de un edificio con respecto a otros edificios de su entorno puede afectar al comportamiento de estos durante un terremoto (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002). En el caso de un conjunto de viviendas en hilera en una manzana urbana, son las viviendas situadas en los extremos de la fila o las situadas en las esquinas las que se ven más afectadas generalmente. Por uno de sus laterales está limitada por la vivienda vecina, mientras que por el otro no lo está, generando una irregularidad en la rigidez general de la estructura que provoca un daño mayor (EMS-98).

En este apartado se aplica el modificador recomendado por Milutinovic y Trendafiloski (2003) para cuantificar estos efectos. Para ello se consideran tres tipos de edificaciones en función de su posición dentro de una manzana o agregado de edificaciones (Lantada, 2007):

- Edificio en esquina: cuando su fachada forma parte de un cruce de calles o chaflán.
- Edificio terminal: cuando se halla en contacto con el resto de la manzana tan sólo por uno de sus lados.
- Edificio intermedio: cuando tiene edificaciones adyacentes a ambos lados.

Modificador de posición del edificio en la manzana ( $M_{c8}$ )				
Posición en manzana	Estructura Muraria		Estr. Hormigón Armado / Acero	
	Edificios $\leq$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $\leq$ 1996	Edificios $>$ 1996
En esquina	+0,04	+0,04	+0,04	+0,04
Intermedio	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
Terminal	+0,06	+0,06	+0,06	+0,06

**Tabla 29.** Modificador de posición del edificio en la manzana ( $M_{c8}$ ). Basado en la Tesis de Lantada (2007), y la Tesis de Feriche (2012)

Este modificador solo se aplica para aquellas edificaciones del T.M. de Málaga que han sido objeto de una visita y revisión “in situ”.

**b.9) Modificador en función de la pendiente del terreno ( $M_{c9}$ ):** El análisis de los daños en las edificaciones provocados por terremotos ha puesto de manifiesto la influencia que tiene la pendiente del terreno sobre el que se ubica la edificación, en relación a los daños sufridos por éste. En el caso de estructuras de Hormigón Armado, este comportamiento está condicionado, principalmente, por la existencia de pilares de distintas longitudes, cimentados a distintos niveles, mientras que en el caso de las edificaciones de muros de carga lo condiciona, tanto la diferencia en la resistencia a esfuerzos cortantes de los distintos muros portantes, como el empuje de los forjados y las cubiertas sobre estos elementos de diferentes dimensiones (Milutinovic y Trendafiloski 2003, Lantada, 2007 y Feriche 2012).

En nuestro caso, hemos adaptado este modificador para aplicarlo a todo el conjunto de edificaciones del T.M. de Málaga, mediante la aplicación de coeficientes que penalizan en función de la pendiente del terreno sobre la que se encuentra la edificación.

Para ello, se ha elaborado un mapa de pendientes de todo el término municipal de Málaga, y se ha considerado con pendiente baja los terrenos con (<10%), con pendiente moderada entre (10-20 %) y finalmente con pendiente fuerte los de (>20%).

Modificador en función de la pendiente del terreno ( $M_{c9}$ )				
Pendiente y Cimentación	Estructura Muraria		Estr. Hormigón Armado / Acero	
	Edificios $\leq$ 1925	Edificios $>$ 1925	Edificios $\leq$ 1996	Edificios $>$ 1996
Pendiente baja (<10 %)	-	-	-	-
Pendiente moderada (10-20 %)	+0,04	+0,04	+0,04	+0,04
Pendiente fuerte (>20 %)	+0,06	+0,06	+0,06	+0,06

**Tabla 30.** Modificador por efecto de la pendiente ( $M_{c9}$ ), propuesta de P. Civil de Málaga, basado en los estudios de Milutinovic y Trendafiloski (2003)



En nuestro SIG se realiza previamente, mediante técnicas de análisis espacial, un Modelo Digital del Terreno (MDT) completo del término municipal de Málaga, con información de curvas de nivel, cotas e hidrografía, y posteriormente el mapa de pendientes (medido en %) del T.M. de Málaga.

Los intervalos de pendientes anteriores se reclasifican a valores (1, 2, 3) para así poder aplicarle la tabla correspondiente al modificador.

Una vez obtenido el mapa de pendientes en formato raster, se hace una conversión a formato vectorial para poder curzarlo con nuestra capa base de edificaciones con los siguientes valores:

Intervalo pendiente (%)	Gridcode
0-10	1
10-20	2
>20	3

**Tabla 31.** Reclasificación de los valores de pendientes

Finalmente, se realiza una “Unión Espacial” de la capa base con todos los datos obtenidos hasta el momento, con los datos de la capa generada con los valores de pendientes. Y finalizamos realizando un “*join\_one\_to\_one*” y agregando el campo “gridcode” que contiene el valor de la pendiente mediante el valor máximo de las capas con las que intersece.

En la siguiente imagen podemos observar la distribución de esta pendiente en el T.M. de Málaga, y que en la documentación gráfica (Planos) del Plan Sísmico de Málaga se puede ver con más detalle:

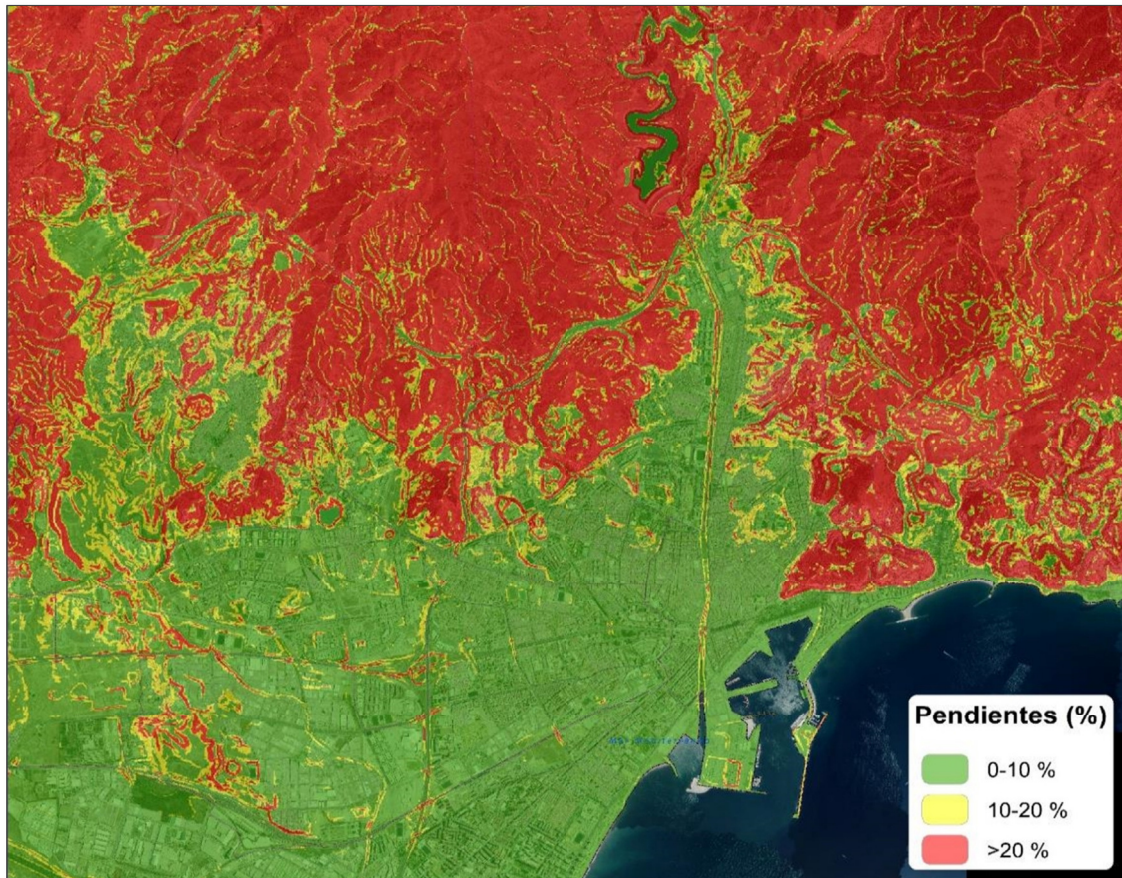


Figura 27. Detalle de la distribución de las pendientes en el T.M. de Málaga.

Una vez aplicados todos los modificadores mencionados anteriormente, se obtiene el **Índice de Vulnerabilidad Total ( $IV_{Total}$ )** para todas y cada una de las edificaciones del T.M. de Málaga, teniendo en cuenta las condiciones de cada una de ellas mediante la aplicación de los Modificadores expuestos.

Para el cálculo del Índice Total de Vulnerabilidad en nuestro SIG, se procede a crear un nuevo campo para el resultado final del Índice, denominado " **$IV_{Total}$** ". Este campo se completa mediante la "calculadora de campo" y aplicando la fórmula del Índice de Vulnerabilidad Total.

- **Modificador Regional ( $Mr$ )**
- **Modificadores del Comportamiento ( $M_c$ ):**

$$M_c = M_{c_1} + M_{c_2} + M_{c_3} + M_{c_4} + M_{c_5} + M_{c_6} + M_{c_7} + M_{c_8} + M_{c_9}$$

- **Índice Vulnerabilidad Total ( $IV_{Total}$ ):**

$$IV_{Total} = V_I^{*F} + Mr + \sum M_c$$

**IV<sub>Total</sub>**: Índice vulnerabilidad total.

**V<sub>I</sub><sup>\*F</sup>**: Índice vulnerabilidad representativo (Valor medio final).

**Mr**: Modificador regional.

**∑Mc**: Sumatorio Modificadores de comportamiento

A continuación, se muestra en la siguiente Tabla un resumen de la fórmula aplicada y los distintos modificadores para el análisis del Índice de Vulnerabilidad de las edificaciones:

$IV_{Total} = V_I^{*F} + Mr + \sum Mc$
<b>IV<sub>Total</sub></b> : Índice vulnerabilidad total (estimada)
<b>V<sub>I</sub><sup>*F</sup></b> : Índice vulnerabilidad representativo (Valor medio final)
<b>Mr</b> : Modificador Regional
<b>Mc</b> : Sumatorio Modificadores de Comportamiento
Mc <sub>1</sub> : Modificador por conservación Mc <sub>2</sub> : Modificador por nº de plantas Mc <sub>3</sub> : Modificador por sistema estructural Mc <sub>4</sub> : Modificador por irregularidad en altura Mc <sub>5</sub> : Modificador por irregularidad en planta Mc <sub>6</sub> : Modificador por longitud de fachada Mc <sub>7</sub> : Modificador por diferencia de altura con los colindantes Mc <sub>8</sub> : Modificador por posición del edificio en la manzana Mc <sub>9</sub> : Modificador por la pendiente del terreno

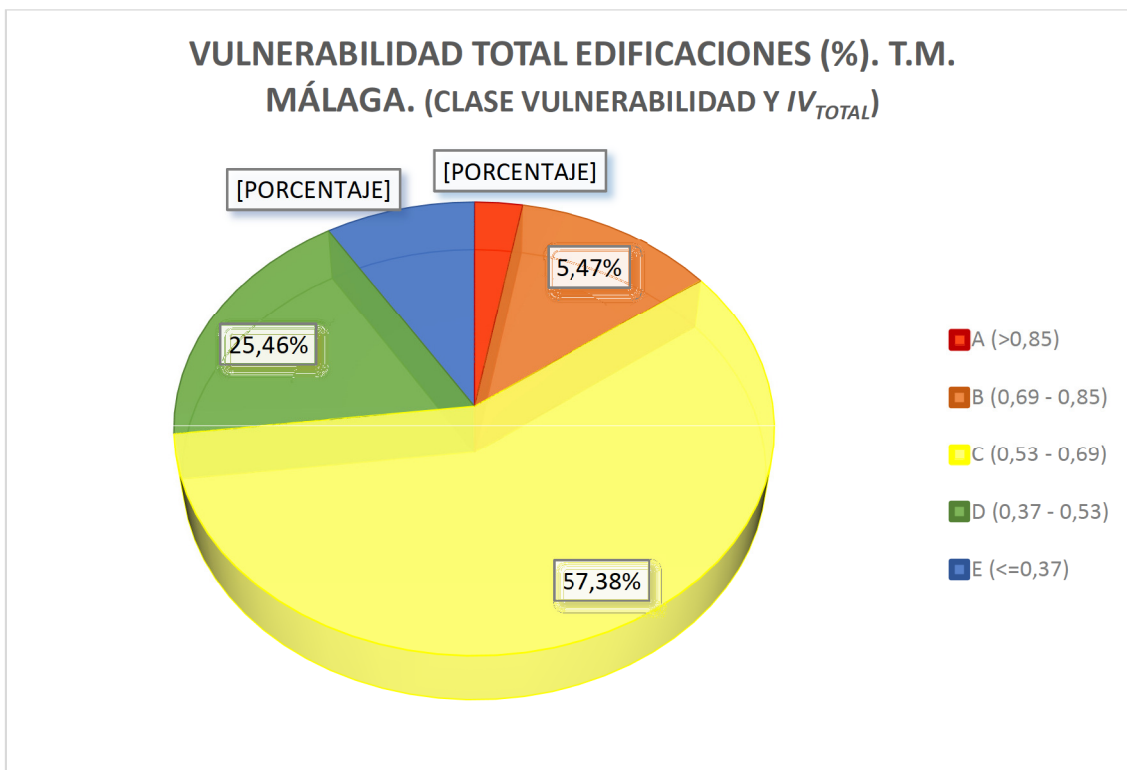
**Tabla 32.** Resumen de la fórmula y modificadores para el análisis del Índice de Vulnerabilidad

Para finalizar el análisis de la vulnerabilidad de las edificaciones, una vez obtenido el (**IV<sub>Total</sub>**) para cada una de las edificaciones del T.M. de Málaga, es necesario reclasificar estos valores para obtener una correlación con la clase de vulnerabilidad de la EMS-98.

Para ello, se utiliza la correlación de clases establecida por Giovinazzi y Lagomarsino (2003), pero aplicando los valores promedio de vulnerabilidad (**V<sub>I</sub><sup>\*F</sup>**) obtenidos y calculados por nosotros para Málaga con los criterios expuestos anteriormente, y que se han aplicado a la totalidad del parque inmobiliario de Málaga mediante el uso de la información Catastral de cada Finca Registral gestionado desde un programa georeferenciado GIS.

Los autores del método RISK-UE establecieron la correlación de las clases de vulnerabilidades de la EMS-98 con los valores de vulnerabilidad normalizado entre los valores 0 y 1. Dicha correlación establece los rangos plausibles y probables de dichos valores para las diferentes clases de vulnerabilidad de la EMS-98. Debido a que los límites de los rangos son bastante amplios, en nuestro estudio establecemos un valor intermedio de dichos rangos para delimitar los valores de vulnerabilidad correspondientes a cada clase de vulnerabilidad encontrado en el T.M. de Málaga.

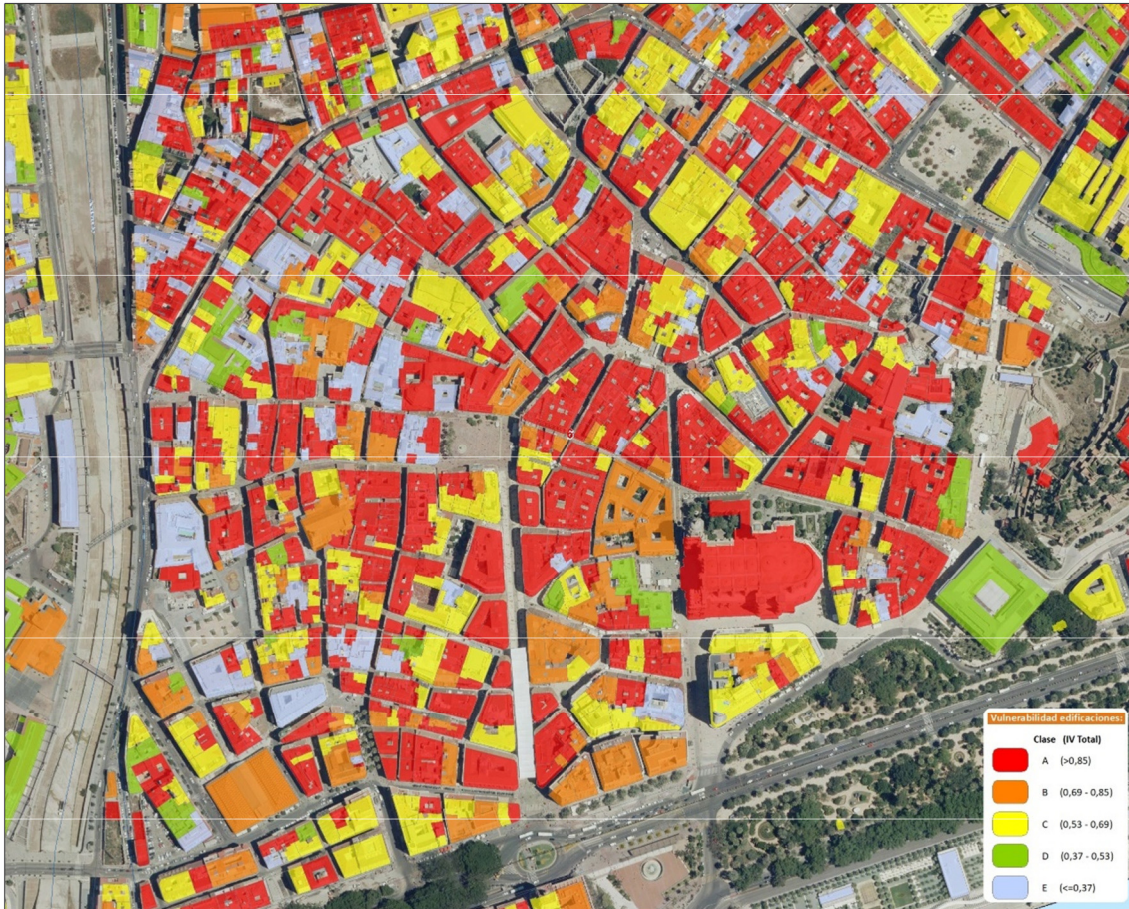
Una vez obtenido este rango de valores y su correlación con la EMS-98, podemos observar en el siguiente gráfico, los rangos de vulnerabilidad total según el índice aplicado y su clase de vulnerabilidad asociados a la EMS-98, quedando patente que el **58,23% de las edificaciones de Málaga tienen una vulnerabilidad de clase C**, seguida por un **25,46% de edificaciones con vulnerabilidad de clase D**.



**Gráfico 08.** Distribución de las clases de vulnerabilidad (EMS-98) y rangos del Índice de Vulnerabilidad Total calculados para los inmuebles del T.M. de Málaga

Además, una vez obtenidos estos valores tras el análisis del Índice de Vulnerabilidad Total, podemos representarlos en un plano, tal y como se ven a continuación a modo de ejemplo en la Figura 28 (2D) y Figura 29 (3D) el índice de vulnerabilidad total y la clase de vulnerabilidad EMS-98 de las edificaciones de una parte de la ciudad, en concreto la zona Centro de Málaga, tanto en una imagen 2D como en 3D. La cartografía de detalle relativa al análisis de vulnerabilidad de todo el T.M. de Málaga se encuentra con detalle en el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA**.





**Figura 28.** Detalle del centro histórico de Málaga, en función del Índice de Vulnerabilidad Total y de la Clase de Vulnerabilidad de la EMS-98. (Vista 2D)





**Figura 29.** Mapa de vulnerabilidad de la zona Centro de Málaga, en función del Índice de Vulnerabilidad Total y de la Clase de Vulnerabilidad de la EMS-98. (Vista 3D)



## 5.2. ANÁLISIS DE FUNCIONALIDAD: EDIFICACIONES DE ESPECIAL IMPORTANCIA Y LÍNEAS VITALES

### 5.2.1. EDIFICACIONES SINGULARES Y LÍNEAS VITALES

En este apartado se desarrolla la catalogación y clasificación de las edificaciones singulares o de especial importancia teniendo en cuenta la Resolución de 29 de marzo de 2010, de la Subsecretaría, por la que se publica el Acuerdo de Consejo de Ministros de 26 de marzo de 2010, donde se aprueba el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico, que determina que siguiendo lo indicado por la Directriz Sísmica en su apartado 2.2, se catalogarán las construcciones que sean consideradas de especial importancia de acuerdo con la definición y clasificación establecida en el apartado 1.2.2 de la Norma de Construcción Sismorresistente Parte General y Edificación (NCSE-02), aprobada por Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre, cuyos objetivos finales son:

- Conocer con anticipación donde se concentrarán los daños.
- Reducir los riesgos asociados.
- Realizar una rápida evaluación de daños tras un fuerte terremoto
- Evitar los daños secundarios.
- Preparar, en los casos en que sea posible, elementos extra que puedan suplir a los más vulnerables.

A los efectos de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02), de acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

1. De importancia moderada: Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.
2. De importancia normal: Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.
3. De importancia especial: Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que así se consideren en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos así como en reglamentaciones más específicas y, al menos, las siguientes construcciones:



- Hospitales, centros o instalaciones sanitarias de cierta importancia.
- Edificios e instalaciones básicas de comunicaciones, radio, televisión, centrales telefónicas y telegráficas.
- Edificios para centros de organización y coordinación de funciones para casos de desastre.
- Edificios para personal y equipos de ayuda, como cuarteles de bomberos, policía, fuerzas armadas y parques de maquinaria y de ambulancias.
- Las construcciones para instalaciones básicas de las poblaciones como depósitos de agua, gas, combustibles, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas y centros de transformación.
- Las estructuras pertenecientes a vías de comunicación tales como puentes, muros, etc. que estén clasificadas como de importancia especial en las normativas o disposiciones específicas de puentes de carretera y de ferrocarril.
- Edificios e instalaciones vitales de los medios de transporte en las estaciones de ferrocarril, aeropuertos y puertos.
- Edificios e instalaciones industriales incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Las grandes construcciones de ingeniería civil como centrales nucleares o térmicas, grandes presas y aquellas presas que, en función del riesgo potencial que puede derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, estén clasificadas en las categorías A o B del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses vigente.
- Las construcciones catalogadas como monumentos históricos o artísticos, o bien de interés cultural o similar, por los órganos competentes de las Administraciones Públicas.
- Las construcciones destinadas a espectáculos públicos y las grandes superficies comerciales, en las que se prevea una ocupación masiva de personas.

De acuerdo con la anterior clasificación, para el estudio de las edificaciones singulares y líneas vitales en Málaga, se han creado los siguientes grupos y subgrupos, para los cuales se incluye un listado completo en el **ANEXO IV: LISTADO DE EDIFICACIONES SINGULARES Y DE ESPECIAL IMPORTANCIA.**





## **Grupo 01: Asistencia Médica**

- 1.1 Hospitales
- 1.2 Centros de Salud
- 1.3 Centros de Especialidades
- 1.4 Empresas Públicas Emergencias Sanitarias
- 1.5 Residencias Geriátricas
- 1.6 Centros Atención Discapacitados
- 1.7 Centros Atención Drogodependientes

## **Grupo 02: Respuesta Emergencia**

- 2.1 Parques de Bomberos
- 2.2 Policía Local
- 2.3 Policía Nacional
- 2.4 Guardia Civil
- 2.5 Protección Civil
- 2.6 Infraestructura Militar
- 2.7 Centros de Emergencias

## **Grupo 03: Alojamiento eventual**

- 3.1 Centros Deportivos
- 3.2 Áreas Seguras Abiertas (Campamentos provisionales)
- 3.3 Hospedaje

## **Grupo 04: Población Vulnerable**

- 4.1 CEIP (Colegio Educación Infantil y Primaria)
- 4.2 IES (Instituto Educación Secundaria)
- 4.3 Centros Universitarios
- 4.4 Otros Centros Educativos
- 4.5 Residencias
- 4.6 Ocupación Masiva

## **Grupo 05: Patrimonio Histórico**

- 5.1 Interés Arquitectónico



## 5.2 Interés Cultural

### Grupo 06: Líneas Vitales

6.1 Infraestructura energética (Líneas eléctricas, estaciones y subestaciones, gaseoductos, oleoductos, etc.)

6.2 Infraestructura hidráulica (Conducción, captación, depósitos, etc.)

6.3 Infraestructura de comunicación (Radiobalizas, antenas, etc.)

### Grupo 07: Sustancias Peligrosas

7.1 Gasolineras

7.2 Instalaciones Tratamiento (RSU)

7.3 Industria Agroalimentaria

7.4 Áreas Industriales

Estos grupos se analizan a continuación y en los cuadros de cada grupo se identifican a cada una de las edificaciones consideradas, recogiendo en la cartografía su ubicación dentro del T.M. de Málaga, para su inmediata localización. Los citados planos se encuentran en el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA**.

#### 5.2.1.1. Grupo 01: Asistencia Médica.

(Información reservada)

#### 5.2.1.2. Grupo 02: Respuesta Emergencia.

(Información reservada)

#### 5.2.1.3. Grupo 03: Alojamiento Eventual.

(Información reservada)

#### 5.2.1.4. Grupo 04: Población Vulnerable.

(Información reservada)

#### 5.2.1.5. Grupo 05: Patrimonio Histórico.

(Información reservada)

#### 5.2.1.6. Grupo 06: Líneas Vitales.

(Información reservada)

#### 5.2.1.7. Grupo 07: Sustancias Peligrosas.

(Información reservada)



## 5.2.2. ANÁLISIS PREVIO DE FUNCIONALIDAD PARA EDIFICACIONES DE ESPECIAL IMPORTANCIA.

Se debe realizar una evaluación de las edificaciones, que junto con datos objetivos existentes nos permitan prever la vulnerabilidad y el grado de funcionalidad de cada edificación/construcción vital, para el caso de producirse un evento sísmico.

Consideramos de vital importancia que las edificaciones donde residen los servicios públicos que deben atender a la población en caso de darse un episodio sísmico, estos permanezcan en estado de uso y servicio para poder prestar servicio a la población, como es el caso de las siguientes edificaciones: hospitales, centros de salud, parques de bomberos, comisarías de policía, dependencias de protección civil, etc. Para nuestro objetivo, se ha considerado necesario la previsión de la respuesta de las construcciones de especial importancia según fija la NCSE-02, es decir, aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos y como mínimo las destinadas a dar respuesta a las emergencias, a alojamiento para desplazados, y a la asistencia sanitaria de heridos.

El objetivo es que la Administración Pública responsable de cada una de las edificaciones de especial importancia realicen una evaluación de sus condiciones estructurales y constructivas, así como de las medidas correctoras a adoptar que permitan garantizar la funcionalidad de dicho inmueble en caso de producirse el máximo sismo previsto para esa zona, según mapa del IGN.

Mientras se realiza dichas acciones se puede dar criterios estimativos para la evaluación del comportamiento de las edificaciones existentes estableciendo, en su caso, unas mínimas medidas correctoras de sencilla ejecución que mejoren la funcionalidad de las mismas. Para ello, aquellas edificaciones que no cumplan con los criterios mínimos establecidos para edificaciones de especial importancia, se procederá a dar traslado de una ficha de inspección preventiva al responsable del organismo de quien dependa dicha edificación, con la evaluación.

No se trata de establecer criterios para la adecuación sísmica de las edificaciones, sino evaluar si es posible mantener su uso durante y posteriormente a un seísmo o en caso contrario, de existir dudas razonables, descartar su empleo y establecer las funciones en otra edificación que reúna las condiciones necesarias.

En este sentido, **las edificaciones de especial importancia propuestas para dicho análisis de funcionalidad son las correspondientes a:**

- **Grupo 01 Asistencia Médica**
- **Grupo 02 Emergencias Sanitarias**
- **Grupo 03 Alojamientos Eventuales**

Esta evaluación se lleva a cabo teniendo en cuenta la vulnerabilidad (anteriormente calculada), la intensidad (obtenidas del proyecto SISMOSAN para Málaga) y la tipología constructiva (también obtenidas anteriormente) de cada una de las edificaciones de los grupos citados.



Las intensidades consideradas, son las expuestas anteriormente en el estudio del SISMO SAN (2007), con las siguientes características:

### **Intensidad VII - Dañino**

- a) La mayoría de las personas se asusta e intenta correr fuera de los edificios. Para muchos es difícil mantenerse de pie, especialmente en plantas superiores.
- b) Se desplazan los muebles y pueden volcarse los que sean inestables. Caída de gran número de objetos de las estanterías. Salpica el agua de los recipientes, depósitos y estanques.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad "A" sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad "B" sufren daños de grado 2 ; algunos de grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad "C" presentan daños de grado 2.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad "D" presentan daños de grado 1.

### **Intensidad VIII - Gravemente dañino**

- a) Para muchas personas es difícil mantenerse de pie, incluso fuera de los edificios.
- b) Se pueden volcar los muebles. Caen al suelo objetos como televisiones, máquinas de escribir, etc. Ocasionalmente las lápidas se pueden desplazar, girar o volcar. En suelo muy blando se pueden ver ondulaciones.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 2.



El análisis contempla la combinación de tres factores (clase de vulnerabilidad de la edificación, tipo de estructura y nivel de intensidad esperada), y utilizando la definición de daños de la EMS-98, se clasifican los daños estimados para cada una de las edificaciones, según una clasificación del daño en 5 grupos:

Intensidad (P.R. 975 años) Para Málaga	Clase de Vulnerabilidad	Estructura Muraria					Estructura H.A. y Acero				
		Grado de Daño					Grado de Daño				
		0-1	2	3	4	5	0-1	2	3	4	5
7 y 7,5	A				GD4	GD5				GD4	GD5
	B			GD3	GD4				GD3	GD4	
	C		GD2	GD3				GD2	GD3		
	D	GD1	GD2				GD1	GD2			
	E	GD1					GD1				
8 y 8,5	A					GD5				GD4	GD5
	B				GD4	GD5			GD3	GD4	
	C			GD3	GD4				GD3		
	D		GD2	GD3				GD2			
	E	GD1	GD2				GD1				

**Tabla 33.** Matriz de daños según las Intensidades esperadas para Málaga, Clase Vulnerabilidad y Tipo de Estructura, Elaborado por el Servicio de Protección Civil del Ayuntamiento de Málaga

Esta tabla elaborada por el Servicio de Protección Civil de Málaga, se basa en la clasificación de daños de la EMS-98, asigna los distintos Grados de Daños a las edificaciones de especial importancia (grupos 01, 02 y 03) diferenciando entre las estructuras murarias de las estructuras de hormigón armado y/o de acero, así como para las distintas clases de vulnerabilidad según las Intensidades máximas previstas para un periodo de retorno de 975 años en Málaga.

Se utiliza el grado de daño para evaluar la **funcionalidad** de las edificaciones después del terremoto, así como para estimar las acciones que hay que llevar a cabo en la recuperación de las edificaciones afectadas.

En el primer caso hay que tener en cuenta, no sólo el nivel y extensión de los daños de la edificación, sino la posibilidad de ocurrencia de réplicas que pueden incrementar los daños que ya pueda tener la estructura.

En el segundo caso, hay que tener en cuenta que, el incremento de los daños con la intensidad no es lineal, y que las edificaciones afectadas por daños de grado 1 y 2 son recuperables, las de grado 3 se pueden recuperar dependiendo del tipo de intervención, mientras que las afectadas por el grado 4 son difícilmente recuperables y solo en unos pocos casos, y las de grado 5 no lo son (Feriche, 2012).

a) **Hay 5 grados de Daño según la EMS-98:** Daños ligeros, Daños moderados, Daños importantes, Daños muy graves y Destrucción. En la siguiente Tabla se reproduce.

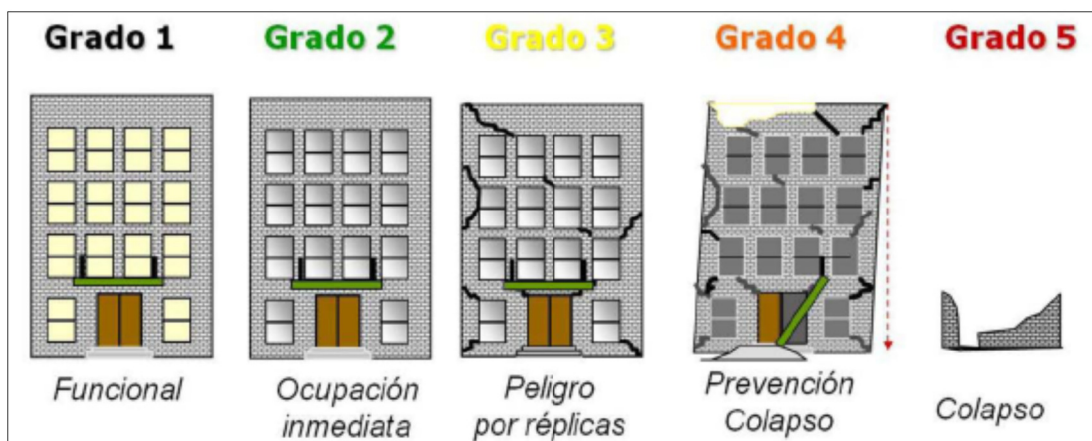
GRADO DAÑO	TIPO DAÑO	MAMPOSTERÍA	HORMIGÓN ARMADO / ACERO
<b>GD1</b>	<b>Daños de despreciables a ligeros</b> (Ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras en muy pocos muros.</li> <li>• Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento.</li> <li>• Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros.</li> <li>• Fisuras en tabiques y particiones.</li> </ul>
<b>GD2</b>	<b>Daños moderados</b> (Daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en muchos muros.</li> <li>• Caída de trozos bastante grandes de revestimiento.</li> <li>• Colapso parcial de chimeneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales.</li> <li>• Grieta en tabiques y particiones; caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.</li> </ul>
<b>GD3</b>	<b>Daños de importantes a graves</b> (Daños estructurales moderados, daños no-estructurales muy graves)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros.</li> <li>• Se sueltan tejas del tejado.</li> <li>• Rotura de chimeneas por la línea del tejado.</li> <li>• Se dañan elementos individuales noestructurales (tabiques, hastiales y tejados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados.</li> <li>• Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la madura de refuerzo.</li> <li>• Grandes grietas en tabiques particiones.</li> </ul>
<b>GD4</b>	<b>Daños muy graves</b> (Daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se dañan seriamente los muros.</li> <li>• Se dañan parcialmente los tejados y forjados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares.</li> <li>• Colapso de algunos pilares o de una planta alta.</li> </ul>
<b>GD5</b>	<b>Destrucción</b> (Daños estructurales muy graves)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso total o casi total.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo alas) del edificio.</li> </ul>

**Tabla 34.** Grados de daños y su descripción para cada tipología constructiva. (EMS-98)

El grado de daño **GD0** queda incluido en la consideración de daños despreciables del apartado GD1 de la EMS-98, considerando que GD0 equivale a un grado de daño nulo, y así realizando esta consideración conseguimos disponer de una misma escala de clasificación de daños (de 0 a 5) en el Plan Sísmico de Málaga. Por lo tanto, se añade el GD0 a los grados de daños de la escala macrosísmica (EMS-98), para abarcar un tipo de daño Nulo y quedar relacionado con los seis grados o estados de daños considerados en el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV).

b) **Hay 5 grados de Funcionalidad:** Total (Funcional), Limitada (Ocupación inmediata), Comprometida (Peligro por réplicas), No operativa (Prevención colapso) y Nula (Colapso).

- **GD0 - GD1 = GF1:** Total (Funcional)
- **GD2 = GF2:** Limitada (Ocupación inmediata)
- **GD3 = GF3:** Comprometida (Peligro por réplicas)
- **GD4= GF4:** No operativa (Prevención colapso)
- **GD5= GF5:** Nula (Colapso)



**Figura 43.** Imagen descriptiva de los distintos grados de daños y relación con los grados de funcionalidad (EMS-98). Tomada de Feriche (2012)

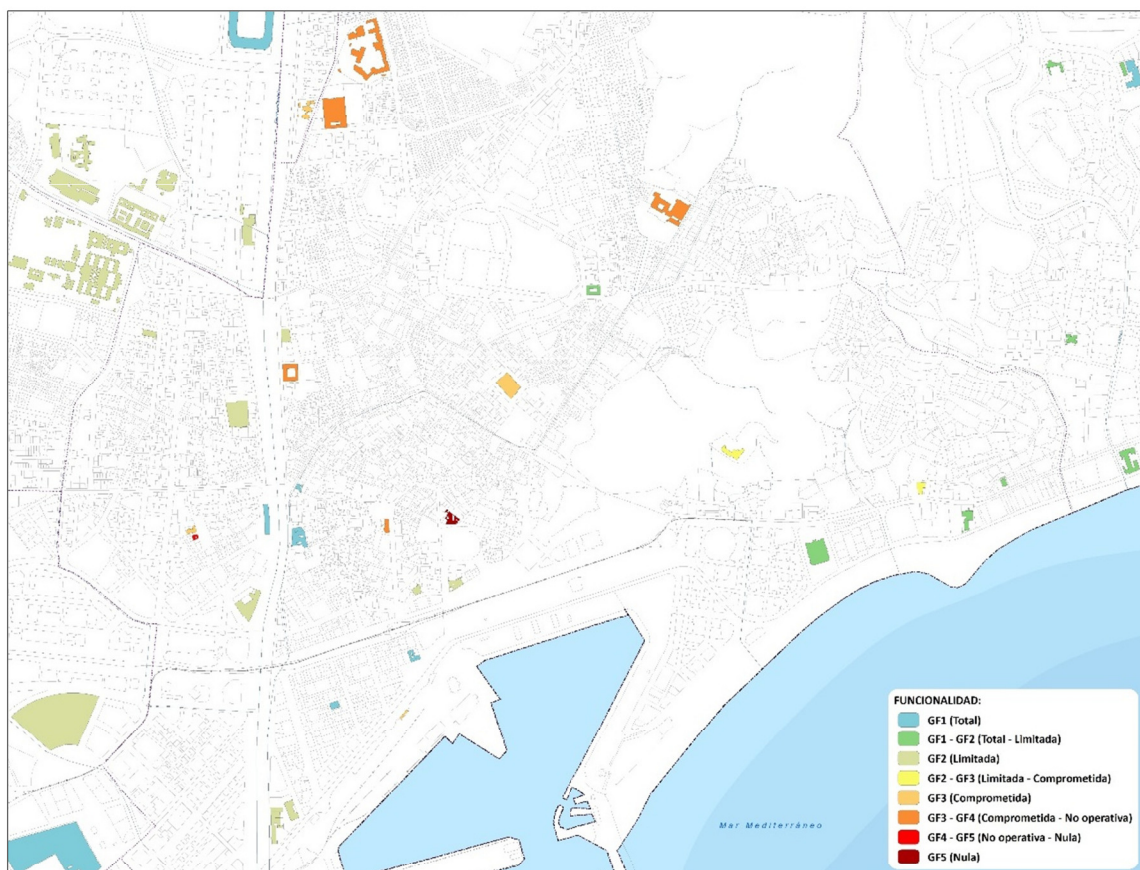
GRADO FUNCIONALIDAD	TOTAL EDIFICACIONES
<b>GF1=</b> Total (Funcional)	44
<b>GF1 - GF2=</b> Total o Limitada	25
<b>GF2=</b> Limitada (Ocupación inmediata)	53
<b>GF2 - GF3=</b> Limitada o Comprometida	6
<b>GF3=</b> Comprometida (Peligro por réplicas)	4
<b>GF3 - GF4=</b> Comprometida o No operativa	7
<b>GF4=</b> No operativa	0
<b>GF4 - GF5=</b> No operativa o Nula	1
<b>GF5=</b> Nula (Colapso)	1

**Tabla 35.** Grados de Funcionalidad de las edificaciones de especial importancia (Grupos 01, 02 y 03) de Málaga

Para el análisis de funcionalidad tanto de las las edificaciones singulares o de especial importancia, como de las líneas vitales, se crea una capa de información geográfica para cada uno de los grupos propuestos en la memoria (grupos del 1 al 7). Estos incluyen información relativa sobre cada grupo, como son el “código”, “nombre”, “tipo”, “subtipo”, “dirección”, “superficie”, “coordenadas”, etc. Estas capas se han creado en formao vectorial de tipo punto, línea y polígono, según las características de cada elemento a representar.

Además, también se genera la capa “funcionalidad” con los campos “analizados” para los grupos 01, 02 y 03 de edificaciones singulares; el campo “G\_Daño” completado con una selección por atributos cumpliendo con los requisitos de vulnerabilidad, intensidad y tipología constructiva de cada una de las edificaciones, y por último, el campo “Funcionalidad” el cual traduce el Grado de Daño en Grado de Funcionalidad.

A continuación, se muestra a modo de ejemplo en la Figura 44 la zona centro de Málaga, con los grados de funcionalidad de las edificaciones analizadas. La información completa se encuentra en los planos del ANEXO de este Plan Sísmico de Málaga.



**Figura 44.** Imagen parcial de los Grados de funcionalidad de las edificaciones analizadas (Zona Centro de Málaga).

El listado de edificaciones analizadas para el Grado de Funcionalidad se encuentra en el **ANEXO IV**, grupos 01, 02 y 03, y en el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA** se puede ver con detalle los planos relativos a la funcionalidad.





### 5.2.3. ANÁLISIS PREVIO DE FUNCIONALIDAD PARA LÍNEAS VITALES.

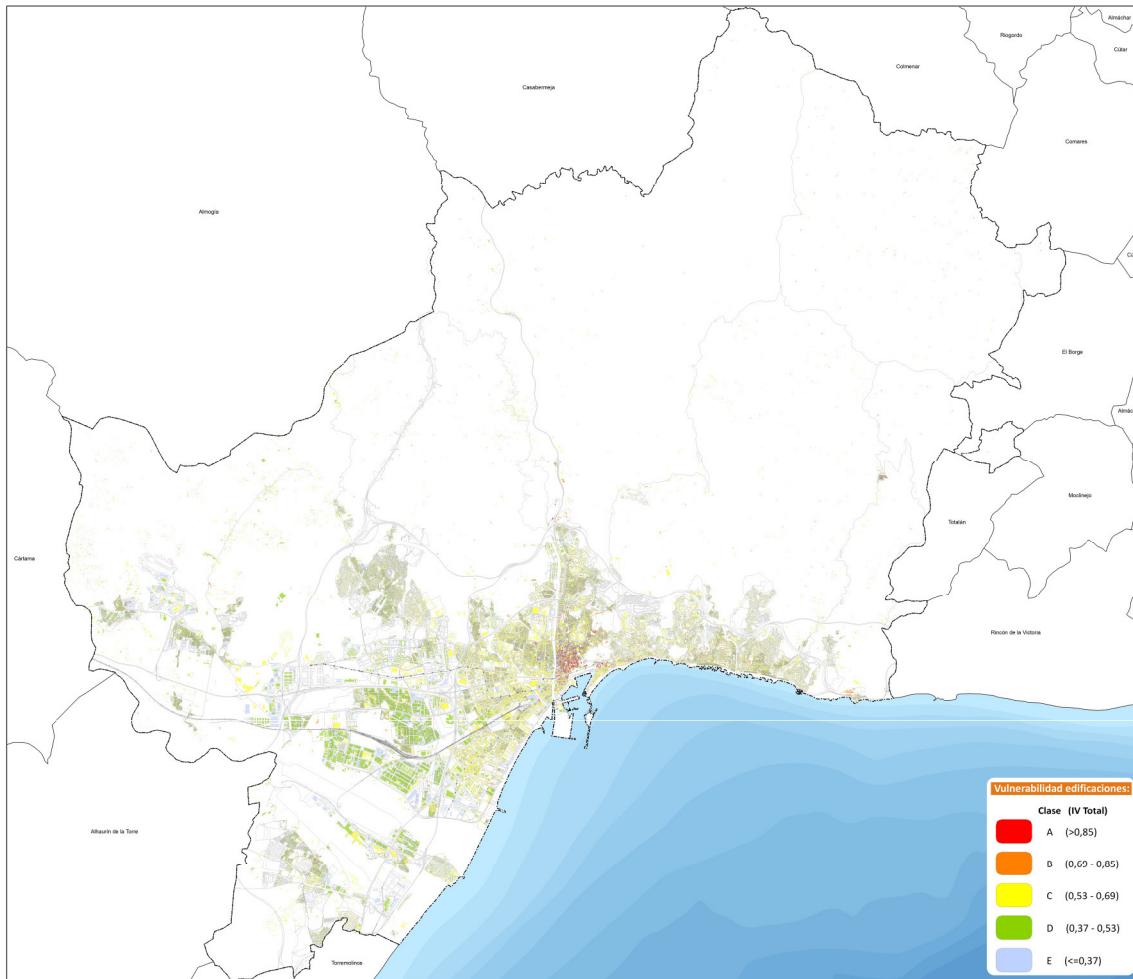
En cuanto a las líneas vitales (depósitos de agua, gas, combustibles, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas y centros de transformación, así como las infraestructuras pertenecientes a las vías de comunicaciones tales como puentes, muros, etc.), se pretende establecer una previsión de la respuesta ante hipotéticos eventos sísmicos que se materializa a través de la efectiva coordinación y colaboración entre las distintas instituciones y empresas, en el diseño de la Planificación municipal en materia preventiva y de gestión de emergencias.

En este contexto, se ha notificado a todas las empresas de distribución de servicios esenciales (agua, luz, gas, telefonía, etc.), la necesidad de que realicen dichas empresas una evaluación de la vulnerabilidad y funcionalidad de sus infraestructuras en caso de terremoto, con la finalidad de conocer los posibles efectos sobre las mismas, determinando criterios de valoración, estándares y acciones encaminadas a minimizar los efectos sobre la población, así como asegurar la capacidad de respuesta de los agentes llamados a intervenir, a partir de un modelo propuesto.

En este sentido, se ha preparado previamente un documento con las pautas a seguir por las empresas suministradoras de servicios a la hora de analizar y evaluar sus líneas vitales. Con esto se pretende ayudar y facilitar la labor de la evaluación a las propias empresas, para que posteriormente nos remitan dicho informe, y así poder incorporarlo a este Plan de Actuación Local Sísmico de Málaga.

El documento con las pautas de evaluación y análisis, así como las copias de los registros de salida de cada una de las notificaciones solicitadas, se incluyen en el **ANEXO V: DIRECTRICES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y FUNCIONALIDAD DE LAS LINEAS VITALES.**

**MAPA FINAL DE VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES DEL T.M. DE MÁLAGA**



**Figura 45.** Mapa final de Vulnerabilidad de la edificaciones del T.M. de Málaga.

En el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA** se muestra con detalle todos los mapas relacionados con la Vulnerabilidad de las edificaciones de Málaga.