



ANEXO II: DESCRIPCIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DEFINIDAS EN EL PROYECTO RISK-UE

En este apartado se describen las tipologías constructivas utilizadas en el Proyecto Risk-UE definidas por Milutinovic y Trendafiloski (2003). Estos autores utilizan un sencillo código para la identificación de cada una de las tipologías:

- **M:** Grupo de las de muros de carga. El primer número hace referencia al material de la fábrica (1- piedra, 2-adobe y 3- ladrillo) o al tipo de refuerzo (4- reforzada o confinada y 5- totalmente reforzada). El 2º Nº al forjado.
- **RC:** Grupo de las de Hormigón Armado (Reinforced Concrete)
- **S:** Grupo de las metálicas (Steel).
- **W:** Grupo de las de madera (Wood).

M1.1 - Muros de carga de fábrica de piedra y cascotes

Se trata de construcciones tradicionales en las que se utiliza la piedra desnuda sin labrar como material básico de construcción, por lo general con mortero de mala calidad, lo que hace a los edificios muy pesados y poco resistentes a cargas laterales. Los forjados son generalmente de madera y no proporcionan rigidez horizontal.

M1.2 - Muros de carga de fábrica de piedra tallada

Esta tipología se diferencia de la anterior en que las piedras de construcción han sufrido algún tratamiento antes de ser utilizadas. Se trata de piedras labradas puestas en obra de acuerdo con algunas técnicas que mejoran la fuerza de la estructura (por ejemplo, usando piedras más grandes para trabar los muros ortogonales en esquinas). En esta tipología también se pueden incluir los edificios de fábrica de piedra cortada, con pulido áspero, siempre y cuando las piedras sean de tamaño considerable, con una textura precisa y a veces rugosa, hecha a posteriori con el fin de incrementar los contactos en las hiladas.

Por otra parte, pueden incluirse en este tipo la piedra sin labrar intercalada con capas horizontales de ladrillo o piedra más grande.

M1.3 - Muros de carga de fábrica de Sillería

Suelen ser parte de construcciones monumentales tales como palacios, castillos, mansiones, etc. En cuanto a las técnicas de construcción de este tipo de fábrica, desarrollada en la Edad Media, las piedras se tallan con una gran precisión por mano de obra especializada. En edificios residenciales, aunque la mayoría no tienen todos sus muros de sillares, sino que los alternan con fábrica de ladrillo, utilizando los sillares como refuerzo y/u ornamento (sobre todo en fachadas, esquinas y huecos). En consecuencia, estos edificios por lo general poseen una gran resistencia, lo que contribuye a su buen comportamiento sísmico.

M2 - Adobe / Tapial

Este tipo de construcción se puede encontrar en muchos lugares donde haya arcillas adecuadas. Los métodos de construcción de adobe varían ampliamente, e introducen grandes variaciones en la resistencia a los terremotos en este tipo de edificaciones.

Los muros contruidos por capas de adobe sin uso de ladrillos son rígidas, pero débiles; pueden comportarse mejor en función de la calidad de mortero, y, en menor medida, de la calidad de los bloques de adobe. Las casas de este material con marcos de madera o con sistemas de abrazadera ven



incrementada su resistencia lateral y se comportan significativamente mejor durante los terremotos. Estos edificios pueden sufrir daños en la pared de adobe con relativa facilidad, mientras que la estructura de madera se mantiene intacta. También hay casos donde vigas y columnas de madera desconectadas entre sí se utilizan en casas de adobe, proporcionando la fuerza horizontal extra necesaria para mejorar el rendimiento, pero no tanto como haría un armazón.

M3.1 - Muros de carga de fábrica de ladrillo no reforzada y forjados de madera

Son edificios con muros de carga de fábrica no reforzada y forjados de madera. La mayoría de forjados y cubiertas de madera se han construido apoyadas en marcos de madera. En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, tamaño y posición de los huecos. Grandes huecos, pequeños pilares o machones entre los huecos y esquinas, así como escasas paredes internas debido a la amplitud de las habitaciones, contribuyen a hacer más vulnerables estos edificios. Un problema a tener en cuenta es el uso de los huecos de los muros, lo que puede dar lugar a muros muy débiles con insuficiente resistencia a los terremotos.

M3.2 - Muros de carga de fábrica de ladrillo no reforzada y bóvedas.

Hay edificios con muros de fábrica no reforzada y bóvedas también de fábrica. Estas bóvedas apoyan directamente sobre los muros de carga o indirectamente a través de arcos de mampostería. En la mayoría de los casos de este tipo estructural se encuentra en edificios religiosos. Grandes huecos, pequeños pilares o machones entre los huecos y esquinas, así como una baja densidad de particiones internas que da lugar a una gran amplitud de las habitaciones, contribuyen a hacer más vulnerables estos edificios. Un problema a tener en cuenta es la apertura de huecos en los muros, lo que puede dar lugar a muros muy débiles con insuficiente resistencia a los terremotos.

M3.3 - Muros de carga de fábrica no reforzada y forjados mixtos de acero y revoltón cerámico.

Son edificios con muros de fábrica de ladrillo no reforzada y forjados de viguetas metálicas apoyadas sobre los muros de carga, con bóvedas de ladrillo entre dichas viguetas. El problema más frecuente de estas construcciones es la pérdida o disminución de la superficie de apoyo de los elementos estructurales por falta de conexión entre los mismos.

M3.4 - Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de hormigón armado.

Aunque los muros son los elementos más importantes que deben observarse en estos edificios, a veces, los elementos horizontales pueden ser igualmente decisivos en la determinación de la resistencia de una estructura a la carga lateral. Por lo tanto este tipo de construcción donde las paredes no están reforzadas (ladrillos, piedras labradas, bloques de hormigón) y los forjados son de hormigón armado (HA), debería comportarse mucho mejor que los edificios más antiguos de mampostería ordinaria.

Si los muros están conectados y atados con el forjado y con los zunchos de atado perimetrales, se crea un sistema de "caja" que efectivamente reduce el riesgo de colapso fuera del plano de los muros, o la separación y la deriva de la intersección de muros perpendiculares. Esta mejora del rendimiento sólo se producirá si el forjado de HA está correctamente conectado con la estructura, lo que es el caso de los edificios de mampostería reciente (siglo XX), en los que se ejecuta con un zuncho perimetral de atado.

M4 - Muros de carga de mampostería confinados o reforzados

En la fábrica o mampostería reforzada, las barras (o el mallazo) de acero están embebidos entre las hileras de ladrillos de obra (tomadas con mortero o lechada), creando un material compuesto que actúa como un muro muy resistente y dúctil. Dicho refuerzo está presente, tanto en el plano vertical como en el horizontal. Este tipo de fábrica o mampostería confinada se caracteriza por estar construida rígidamente entre un sistema de ligeras columnas y vigas estructurales en los cuatro lados (en ocasiones



constituyendo un entramado de madera), lo que le proporciona un nivel similar de resistencia. No se pretende que en estos casos los elementos de conexión se comporten como marcos resistentes a momento, puesto que la fábrica no es sólo un relleno no estructural sino el principal material estructural.

M5 - Edificios de mampostería totalmente reforzada

Los viejos edificios de mampostería pueden someterse a un fortalecimiento general, con el fin de reducir la vulnerabilidad sísmica. Los trabajos propios de esta categoría son los siguientes: a) nuevos forjados de HA, con anillo continuo de vigas y losas rígidas, b) revestimiento de los paños de mampostería con HA; c) construcción del anillo de HA de vigas y columnas en el interior del muro o en su perímetro interior, con el fin de confinar la mampostería con un marco no resistente a momento, d) inserción de un marco de acero en el espesor de la pared. El comportamiento de estos edificios es muy diverso, ya que depende de la eficacia de la intervención adoptada en relación al edificio original y en la calidad de su ejecución o puesta en obra. Dentro de esta tipología se han incluido los edificios rehabilitados y reforzados con un mismo material (madera, fábrica, HA o acero), sin reconstrucciones parciales de los mismos.

RC1 - Estructuras de pórticos de Hormigón resistentes al momento

Los elementos estructurales de estos pórticos consisten en pilares y vigas de HA (o RC) articulados entre sí. En algunos casos, las conexiones de la viga-pilar tienen un momento muy pequeño pero, en otros casos, los pilares y las vigas están diseñados por completo como pórticos resistentes al momento para soportar los esfuerzos laterales. Por lo general, la estructura se oculta al exterior embutiéndola en muros no estructurales, que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, fábrica de ladrillo o paneles prefabricados). Los forjados de HA funcionan como diafragmas, transfiriendo las cargas laterales a los pórticos resistentes a momento. Una baja rigidez de éstos significaría grandes derivas entre plantas que pueden conducir a un daño no estructural relativamente mayor. Existe una gran variedad de estos sistemas estructurales. Algunas estructuras más antiguas pueden no estar adecuadamente proporcionadas y detalladas lo que implicaría un fallo frágil de los elementos del pórtico en caso de sismo, provocando el colapso parcial o total del edificio. Por el contrario, los pórticos modernos diseñados con criterios sismorresistentes están adecuadamente proporcionados y calculados para el comportamiento dúctil, pudiendo experimentar grandes deformaciones durante un terremoto sin rotura frágil de los elementos del pórtico y sin colapso de la edificación.

RC2 - Muros de cortante de hormigón

Los componentes verticales del sistema resistente a fuerzas laterales en edificios de muros de cortante de hormigón armado, son los muros estructurales de HA. En los edificios antiguos, estos muros tienen a menudo grandes áreas de sección transversal para que los esfuerzos gravitacionales del muro sean bajos y los refuerzos verticales y horizontales muy ligeros. En los nuevos, se limita con frecuencia su extensión, lo que genera cierta preocupación acerca de los límites de los miembros y la resistencia al corte de los muros. Cabe señalar que la estructura de muros cortantes de HA es la solución más adecuada resistente a sismo para edificios de mediana altura.

RC3.1 - Estructuras regulares de Hormigón Armado con muros de relleno de fábrica

Las estructuras sin diseño sismorresistente que tienen buenos muros de relleno de mampostería regular, pueden incrementar significativamente la resistencia a acciones laterales. Los muros de relleno generalmente están alineados con los pórticos en el exterior, envolviéndolos, y mostrando un exterior de mampostería lisa y sin señales de la estructura. Estos paños de fábrica de ladrillo sólidamente rellenos, al acoplarse plenamente a los elementos del pórtico que rodea (p.e. poniéndose en el mismo



plano), pueden proporcionar la suficiente rigidez y resistencia a carga lateral a la estructura. En estos edificios, la fragilidad de los pilares, después de la fisuración del de relleno, puede limitar el comportamiento semi-dúctil del sistema.

RC3.2 - Estructuras irregulares de HA con muros de fábrica

Estas estructuras son similares a las de la tipología anterior (RC3.1) salvo que en este caso, tanto los pórticos como los muros de relleno pueden ser irregulares. Las irregularidades de la estructura y/o la presencia de piso débil (especialmente en planta baja) dan lugar a un pobre comportamiento estructural bajo cargas laterales.

RC4 - Sistemas duales de muros y pórticos de hormigón armado

Estos edificios cuentan con sistemas estructurales compuestos por pórticos de hormigón armado y muros cortantes (estructurales) del mismo material.

RC5 - Muros de Hormigón prefabricado

Estos edificios están constituidos por muros cortantes de HA prefabricados conectados por losas del mismo material. En los edificios más antiguos las conexiones de anclaje entre muros y losas suelen ser inadecuadas y a menudo frágiles. Las paredes pueden tener multitud de huecos para puertas y ventanas de dimensiones tales que se parecen más a un pórtico que a un muro de cortante.

RC6 - Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de HA

Estos edificios tienen los forjados generalmente constituidos por elementos prefabricados salvo el de cubierta, a base de losas hechas "in situ". Las vigas y columnas prefabricadas de hormigón son las que soportan las losas de suelo y techo. El atado de los elementos prefabricados del forjado y de las uniones viga-pilar generalmente se hace con HA in situ. A menudo se usan inserciones de acero soldado para interconectar los elementos prefabricados. Los muros de cortante de HA son los que resisten las cargas laterales (hechos in situ o prefabricados). Para que este tipo de edificios tenga un buen comportamiento ante las acciones sísmicas, las conexiones de los elementos estructurales deben tener la suficiente resistencia y capacidad de desplazamiento.

S1 - Estructuras metálicas resistentes a momento

Los elementos estructurales de estos edificios constan de pilares y vigas de acero formando pórticos. En algunos casos, las conexiones entre viga y pilar tienen una capacidad resistente al momento muy pequeña pero, en otros casos, son totalmente resistentes al momento. Por lo general, la estructura queda oculta por los cerramientos al exterior y por la tabiquería en el interior, que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, mampostería de ladrillo, prefabricados o paneles de hormigón). Los forjados (diafragmas), que pueden ser de distintos materiales, transfieren la carga lateral a los pórticos resistentes a momento. Los pórticos aumentan su rigidez mediante conexiones total o parcialmente resistentes al momento y generalmente se orientan para que actúen en una determinada dirección.

S2 - Estructuras metálicas arriostradas

Estos edificios son similares a los anteriores (S1), salvo en que los componentes verticales del sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos arriostrados más que pórticos resistentes al momento.

S3 - Estructuras metálicas con muros de relleno de fábrica sin reforzar.

Los muros de relleno generalmente son exteriores a los elementos estructurales, envolviéndolos y presentando un exterior de fábrica lisa y sin señales de la estructura. Los paños de mampostería sólidamente rellenos y perfectamente acoplados a los elementos del pórtico al que rodean pueden



encontrarse en el mismo plano, proporcionando así a la estructura la suficiente rigidez y resistencia a cargas laterales

S4 - Pórticos metálicos con muros de cortante de HA colocados “in situ”.

Los muros de cortante en estos edificios son de hormigón armado hechos in situ. La estructura de acero está diseñada solamente para cargas verticales. El marco de acero puede ofrecer un segundo sistema resistente a esfuerzos laterales dependiendo de la rigidez del mismo y de la capacidad de resistencia al momento de las conexiones viga-pilar. En el moderno sistema “dual”, los pórticos de acero resistentes al momento se diseñan para trabajar junto con los muros de corte de hormigón.

S5 - Sistemas compuestos de Acero y H.A

Estos edificios tienen pórticos resistentes al momento constituidos por pilares y vigas compuestos, de acero y HA (también se les llama estructuras mixtas). Por lo general, la estructura está recubierta por los cerramientos exteriores no estructurales que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, mampostería de ladrillo o paneles de Hormigón prefabricado). Los diafragmas transfieren cargas laterales a los pórticos resistentes al momento. Los pórticos desarrollan su rigidez mediante conexiones total o parcialmente resistentes al momento.

W - Estructuras de madera

Por lo general, son viviendas unifamiliares o pequeñas viviendas multifamiliares. El sistema resistente a cargas laterales se caracteriza por un conjunto de marcos de madera arriostrados o marcos de madera revestidos (madera contrachapada, conglomerado, cartón fibra, etc.). Las cargas son ligeras y las luces pequeñas. Estos edificios pueden tener chimeneas de mampostería relativamente pesada que puede ser parcial o totalmente recubiertas con paneles de fábrica. Los forjados de madera pueden estar recubiertos con conglomerado, madera contrachapada o fibra. Los muros pueden estar revestidos con tableros, estuco, yeso, madera contrachapada, tablero de yeso, tableros de partículas o de fibra vulcanizada.

El objetivo de esta matriz (Matriz de tipologías constructivas definidas por Milutinovic y Trendafiloski (2003) contempladas en el proyecto Risk-UE (2003) es agrupar en una serie de tipologías constructivas los edificios con unas características estructurales y comportamiento similares.

En esta Tabla se ha incluido solo el valor VI*, que es el valor más probable o característico del índice de vulnerabilidad.

Según este criterio, la vulnerabilidad de los edificios oscila entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a 1 los correspondientes a los edificios más vulnerables y los cercanos a 0 a los menos vulnerables



Matriz de tipologías (BTM) de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)

Tipo	Descripción	Índice de vulnerabilidad
		V_i^*
M1.1	Muros de carga de fábrica de piedra y cascotes	0,873
M1.2	Muros de carga de fábrica de piedra tallada	0,740
M1.3	Muros de carga de fábrica de Sillería	0,616
M2	Adobe / Tapial	0,840
M3.1	Muros de carga de fábrica y forjados de madera	0,740
M3.2	Muros de carga de fábrica no reforzada y bóvedas de ladrillo	0,776
M3.3	Muros de carga de fábrica no reforzada y forjados mixtos de acero y mampostería	0,704
M3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losa hormigón armado	0,616
M4	Muros de carga de mampostería confinados o reforzados	0,451
M5	Edificios de mampostería totalmente reforzada	0,694
RC1	Estructuras de pórticos de Hormigón resistentes al momento	0,442
RC2	Muros de cortante de hormigón	0,386
RC3.1	Estructuras de Hormigón Armado con tabiquería regular	0,402
RC3.2	Estructuras de Hormigón Armado irregulares tabicadas	0,522
RC4	Sistemas duales de muros y pórticos de hormigón armado	0,386
RC5	Muros de Hormigón prefabricado	0,384
RC6	Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de HA	0,544
S1	Estructuras metálicas resistentes a momento	0,363
S2	Estructuras metálicas arriostradas	0,287
S3	Estructuras metálicas con muros de relleno de fábrica sin reforzar	0,484
S4	Pórticos metálicos con muros de cortante de HA colocados "in situ".	0,224
S5	Sistemas mixtos de Acero y H.A	0,402
W	Estructuras de madera	0,447



Matriz de tipologías (BTM) de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)

(ADAPTADA PARA RELACIONARLA CON LAS CLASES DE VULNERABILIDAD EMS-98, Y MODIFICACIÓN DE LOS VALORES PROMEDIOS DE (v_i^*) A (v_i^{*F}))

Matriz de tipologías (BTM) de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)			EMS-98 – Prot. Civil Málaga
Tipología	Relación clases vulnerabilidad (Málaga)	Índice vulnerabilidad Valor medio (v_i^*)	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



Servicio de Protección Civil

W	Estructuras de madera (<i>Wood structures</i>)	0,447	D		
<i>*Clases de vulnerabilidad</i>					
	A	B	C	D	E

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