

MINISTÈRE DE LA CULTURE, DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

CONSEIL DE L'EUROPE

Cahiers
du Centre Européen
de Géodynamique
et de Séismologie

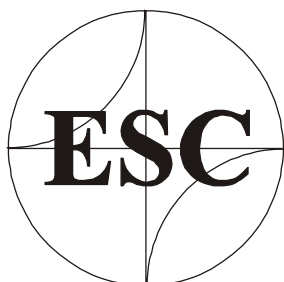
Volume 27



Escala Macrosísmica Europea 1998 European Macroseismic Scale 1998

editor
G. GRÜNTAL
edición española
F. Lorenzo Martín

Luxembourg 2009



Comisión Sismológica Europea

Subcomisión de Ingeniería Sísmica

Grupo de Trabajo sobre Escalas Macrosísmicas

Escala Macrosísmica Europea 1998

EMS – 98

Editor

G. Grünthal

Presidente del Grupo de Trabajo “Escalas Macrosísmicas” de la ESC
GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam, Alemania

Edición española

F. Lorenzo Martín

Editores Asociados:

R. M. W. Musson, British Geological Survey, Edimburgo, Gran Bretaña

J. Schwarz, Bauhaus Universität, Weimar, Alemania

M. Stucchi, Instituto di Ricerca sul Rischio Sismico, C.N.R. Milán, Italia

HAMBURGO 2008

ACCORD PARTIEL OUVERT

En matière de prévention, de protection et
d'organisation des secours contre les risques naturels et technologiques majeurs

du CONSEIL DE L'EUROPE

Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie
Musée National d'Histoire Naturelle
Sección Astrophysic et Géophysique, Luxemburgo

PREFACIO A LA 1ª EDICIÓN

Es un honor y un gran placer introducir esta monografía dedicada a la nueva “Escala Macrosísmica Europea 1992”, que se completó en la XXIII Asamblea General de la Comisión Sismológica Europea (ESC) en Praga en 1992.

Hay que mencionar que la ESC siempre ha brindado gran atención a la clasificación de intensidades de terremotos. En 1964, la escala MSK-64, así llamada en honor a sus creadores V. Medvedev, W. Sponheuer y V. Kárník, fue recomendada por la ESC y usada ampliamente durante casi treinta años en su forma básica. En 1981 se introdujo una versión modificada de la misma.

Ahora, después de más de cinco años de intenso trabajo, tenemos en nuestras manos una Escala Macrosísmica Europea mejorada, que incorpora todos los avances realizados en este campo. Esta nueva escala fue recomendada por la Asamblea General de la ESC en 1992 para uso general durante un período de prueba de 3 años. Esta es seguramente la forma más útil y correcta de introducir un estándar internacional por parte de la ESC.

Es importante mencionar que el uso de métodos informáticos en la evaluación de datos sísmicos ha conducido a una mejor definición de la escala. También hay que tener presente que la escala de intensidad puede mejorarse a través del debate continuo y de su uso en la práctica, pero que las nuevas ideas no deben cambiar sus principios básicos. La nueva escala que aquí se presenta es un buen ejemplo de cómo realizar esta difícil tarea.

Permítanme expresar mi reconocimiento a los miembros del Grupo de Trabajo sobre “Escala Macrosísmicas” de la ESC y a todos los colegas que contribuyeron a la presente versión. Es un excelente resultado de uno de esos proyectos internacionales a largo plazo, apoyados en primera instancia por la ESC. Quiero expresar mis agradecimientos en especial al editor y Coordinador del Grupo de Trabajo, Dr. G. Grünthal, Potsdam, así como a los otros editores, Dr. R. M. W. Musson, Edimburgo, Dr. J. Schwarz, Weimar y Dr. M. Stucchi, Milán, por su tremendo esfuerzo.

La ESC reconoce el apoyo brindado por el Consejo Europeo a través del Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie en Luxemburgo, la compañía reaseguradora Swiss Reinsurance Co. en Zúrich y la compañía de seguros Bavarian Insurance Co. en Múnich por proporcionar sede para los talleres de trabajo. Nuestro agradecimiento lo extendo también al Consejo de “Cahiers” por la edición de este volumen.

Praga, 8 de Marzo de 1993.

Ludvik Waniek

Presidente de la ESC

PREFACIO A LA 2ª EDICIÓN

Han pasado ya cinco años desde que nuestro estimado colega Ludvik Waniek redactó el prefacio a la 1ª edición de la Escala Macrosísmica Europea. Ha pasado mucho en estos cinco años con respecto al desarrollo de la escala. El período recomendado de prueba de tres años incluyó el uso de la escala no solamente en el contexto Europeo sino en uno internacional, involucrando muchos de los terremotos más significativos del período: Maharashtra 1993, Northridge 1994 y Kobe 1995 por mencionar solamente tres.

En la 11ª Conferencia Mundial de Ingeniería de Terremotos en Acapulco en 1996 se presentó una sesión temática especial en torno a la escala, su ensayo y su desarrollo. Esto es un dato significativo, dado que la EMS es la primera escala diseñada para fomentar la cooperación entre ingenieros y sismólogos, en vez de ser usada solamente por los sismólogos. Más adelante en ese mismo año, la XXV Asamblea General de la ESC aprobó en Reykjavik una resolución recomendando la adopción de la nueva escala dentro de los países miembros de la ESC.

Esta nueva escala ha sido completada después de incorporar mediante mucho trabajo extra las lecciones aprendidas durante el período de prueba, y es con gran placer que la presento a la comunidad sismológica con la esperanza de que sea adoptada en toda Europa para futuras investigaciones macrosísmicas.

Me queda solamente agradecer por su excelente trabajo al Dr. Gottfried Grünthal, el responsable del Grupo de Trabajo de “Escala Macrosísmica” de la ESC, al consejo editorial y a todos los otros colegas que han contribuido a esta importante labor. También quisiera agradecer de nuevo al Consejo de Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie por promover la publicación de este volumen.

Trieste, 6 de Abril de 1998.

Peter Suhadolc

Secretario General de la ESC

Contenido

| | |
|---|-----------|
| CONTRIBUYENTES EN EL PROCESO DE ESTABLECIMIENTO DE LA ESCALA MACROSISMICA EUROPEA (EMS) | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| ESCALA DE INTENSIDAD MACROSISMICA | 14 |
| DIRECTRICES Y MATERIAL DE REFERENCIA | 21 |
| 1 Asignando intensidades | 21 |
| 1.1 La naturaleza de la intensidad | 21 |
| 1.2 La estructura de la escala de intensidad EM-98 | 22 |
| 1.2.1 Tipos de edificios y clases de vulnerabilidades | 23 |
| 1.2.2 Grados de daño | 24 |
| 1.2.3 Cantidades | 25 |
| 1.3 Intensidad y localización | 26 |
| 1.4 Estableciendo el grado | 27 |
| 1.5 Uso de información negativa | 28 |
| 1.6 Inferencias inválidas | 28 |
| 1.7 Edificios altos y otros casos especiales | 29 |
| 1.8 Efectos debidos a condiciones de suelo | 29 |
| 1.9 Notación | 30 |
| 2 Vulnerabilidad | 31 |
| 2.1 Vulnerabilidad de edificios en escalas de intensidad – una perspectiva histórica | 31 |
| 2.2 Tipos de edificios y la Tabla de Vulnerabilidad | 32 |
| 2.2.1 Comentarios generales sobre la resistencia a terremotos | 33 |
| 2.2.2 Estructuras de mampostería | 34 |
| 2.2.2.1 Paredes de peña viva / roca de cantera | 34 |
| 2.2.2.2 Adobe / ladrillo de tierra | 34 |
| 2.2.2.3 Roca simple | 35 |
| 2.2.2.4 Roca masiva | 35 |
| 2.2.2.5 Ladrillo no reforzado / bloques de hormigón | 35 |
| 2.2.2.6 Ladrillo no reforzado con pisos de HA | 36 |
| 2.2.2.7 Ladrillo reforzado y mampostería confinada | 36 |
| 2.2.3 Estructuras de hormigón armado | 36 |
| 2.2.3.1 Estructuras de armazón de hormigón armado | 37 |
| 2.2.3.2 Estructuras de muros de hormigón armado | 38 |
| 2.2.4 Estructuras de acero | 38 |
| 2.2.5 Estructuras de madera | 39 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3 | Factores que afectan a la vulnerabilidad sísmica de edificios | 40 |
| 2.3.1 | Calidad y fabricación | 40 |
| 2.3.2 | Estado de preservación | 40 |
| 2.3.3 | Regularidad | 41 |
| 2.3.4 | Ductilidad | 42 |
| 2.3.5 | Localización | 42 |
| 2.3.6 | Refuerzo | 42 |
| 2.3.7 | Diseño sismoresistente (DSR) | 43 |
| 2.3.7.1 | DSR consistente con el código | 43 |
| 2.3.7.2 | Importancia | 45 |
| 2.3.7.3 | Nivel final (real) de DSR y clase de vulnerabilidad | 45 |
| 2.4 | Asignando la clase de vulnerabilidad | 46 |
| 2.5 | Comentarios sobre la introducción de nuevos tipos de edificios | 47 |
| 3 | Asignando la intensidad en base a registros históricos | 49 |
| 3.1 | Datos históricos y documentales | 49 |
| 3.2 | Tipos de edificios (clases de vulnerabilidad) en registros históricos | 50 |
| 3.3 | Número total de edificios | 50 |
| 3.4 | Calidad de las descripciones | 51 |
| 3.5 | Daños a monumentos | 51 |
| 4 | El uso de escalas de intensidad | 53 |
| 4.1 | Intensidades observadas y extrapoladas | 53 |
| 4.2 | Correlaciones con parámetros de movimiento de suelo | 53 |
| 4.3 | Correlación con otras escalas | 54 |
| 4.4 | Calidad de la determinación de intensidades y muestras de datos | 54 |
| 4.5 | Calidad e incertidumbre | 55 |
| 4.6 | Curvas de daño | 57 |
| 4.7 | Limitaciones de las escalas de doce grados | 59 |
| 4.8 | El supuesto grado “desaparecido” de la escala MSK | 60 |
| 5 | Ejemplos ilustrativos de la clasificación de daños a tipos de edificios | 62 |
| 6 | Ejemplos de asignación de intensidades | 88 |
| 7 | Efectos en entornos naturales | 94 |
| 8 | Versión abreviada de la EMS-98 | 98 |

CONTRIBUYENTES EN EL PROCESO DE ESTABLECIMIENTO DE LA ESCALA MACROSISMICA EUROPEA (EMS)

Las actividades del Grupo de Trabajo “Escala Macrosísmica” de la Comisión Sismológica Europea (ESC) sobre “Escala Macrosísmica” se iniciaron mediante la Solicitud de Propuestas para Actualizar la Escala de Intensidades MSK (como parte del Boletín No. 3 de la ESC de Marzo de 1989), seguido por el folleto “Ideas y Propuestas para Actualizar la Escala MSK” (editado por el Coordinador del Grupo de Trabajo, **G. Grünthal**, Potsdam, Diciembre 1989) donde además de los participantes en las reuniones del Grupo de Trabajo, mencionados abajo, se contó con los comentarios brindados por **P. Albini** (Milán), **N. N. Ambraseys** (Londres) y **A. Moroni** (Milán).

Las personas que han participado en al menos una de las reuniones del Grupo de Trabajo “Escala Macrosísmica” (Zúrich, 7-8 de junio de 1990; Múnich, 14-16 de Mayo de 1991; Walferdange, Luxemburgo, 16-18 de Marzo de 1992) han sido: **G. Grünthal**, **V. Kárník** (Praga), **E. Kenjebaev** (Alma-Ata), **A. Levret** (Fontenay-aux-Roses), **D. Mayer-Rosa** (Zurich), **R. M. W. Musson** (Edimburgo), **O. Novotny** (Praga), **D. Postpischl** (Bolonia), **A. A. Roman** (Kishinev), **H. Sandi** (Bucarest), **V. Schenk** (Praga), **Z. Schenková** (Praga), **J. Schwarz** (Weimar), **V. I. Shumila** (Kishinev), **M. Stucchi** (Milán), **H. Tiedemann** (Zurich), **J. Vogt** (Estrasburgo), **J. Zahradník** (Praga), **T. Z. Zsíros** (Budapest).

Además, **R. Glavcheva** (Sofía), **R. Gutdeutsch** (Viena), **A. S. Taubaev** (Almaty) entre otros presentaron contribuciones al Grupo de Trabajo. El diseño final de la Escala Macrosísmica Europea EMS-92 fue creado por **G. Grünthal**, **R. M. W. Musson**, **J. Schwarz** y **M. Stucchi** en una reunión en Potsdam, del 17 al 21 de junio de 1992 (para más detalles vea la Introducción a la versión previa EMS-92). Se presentaron comentarios con relación a la versión de prueba EMS-92, entre otros por **J. A. Van Bodegraven** (de Bilt), **J. Dewey** (Denver), **J. Grases** (Caracas), **R. Gutdeutsch**, **V. Kárník**, **D. Mayer-Rosa**, **A. A. Nikonov** (Moscú), **J. Rynn** (Indooroopilly), **H.-G. Schmidt** (Weimar), **L. Serva** (Roma), **N. V. Shebalin** (Moscú), **S. Sherman** (Irkutsk), **P. Stahl** (Pau) y **J. Vogt**. La 11ª conferencia mundial de Ingeniería Sísmica, llevada a cabo del 23-28 Junio de 1996 incluyó una sesión especial temática sobre la escala, especialmente en los aspectos de ingeniería, su prueba y desarrollo, con presentaciones de **J. Dewey**, **G. Grünthal**, **C. Gutierrez** (México), **R. M. W. Musson**, **J. Schwarz** y **M. Stucchi**.

El consejo editorial de la EMS-98, **G. Grünthal**, **R. M. W. Musson**, **J. Schwarz** y **M. Stucchi**, se hizo cargo de la inclusión de las lecciones aprendidas durante la aplicación de la EMS-92 a nivel mundial. Comenzando en 1996, se mantuvieron dos reuniones del consejo en conexión con este trabajo (7-9 de noviembre de 1996 en Edimburgo, 26 Enero – 1º de Febrero de 1998 en Potsdam). Como preparación a la reunión de Edimburgo, **M. Dolce** (Potenza), **C. Carocci** (Roma) y **A. Giuffré** (Roma) hicieron una contribución en relación a los aspectos de ingeniería. **D. Molin** (Roma), **A. Tertulliani** (Roma), **Th. Wenk** (Zurich), **H. Charlier** (Stuttgart), contribuyeron en la etapa final del trabajo mediante ilustraciones fotográficas mostrando grados de daño, así como **Th. Wenk** mediante esfuerzos conjuntos con el consejo editorial en los aspectos de ingeniería incorporados a la presente edición. **Ch. Bosse** (Potsdam) contribuyó con su apoyo técnico.

INTRODUCCION

Este volumen del Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie tiene como propósito presentar una actualización de la 1ª edición de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-92) por parte del Grupo de Trabajo sobre Escalas Macrosísmicas de la Comisión Sismológica Europea (ESC), edición publicada en el Volumen 7 del Cahier en el verano de 1993.

Esta nueva escala fue recomendada por la XXIII Asamblea General de la ESC en 1992 para ser usada en paralelo con otras escalas existentes durante un período de tres años, con el propósito de obtener experiencias bajo condiciones reales, especialmente en lo que respecta a los aspectos más experimentales de la escala: clases de vulnerabilidad y construcciones con técnicas de ingeniería. Las pruebas no se limitaron a Europa. Entre los terremotos principales considerados para actualizar la escala EMS-92 están: Roermond/Países Bajos 1992; Kilari/India 1993; Northridge/EEUU 1994; Kobe/Japón, 1995; Aegión/Grecia 1995; Cariaco/Venezuela 1997 e Italia Central 1997/98.

Mientras que los pasos en la creación de la primera versión de la EMS, editada en 1992, se resumieron en la Introducción a dicha versión, aquí se presentan los objetivos generales para introducir una nueva Escala Macrosísmica, en conexión con una visión general sobre las innovaciones principales introducidas en la EMS-98 con respecto a la versión de prueba EMS-92.

La base para el establecimiento de la EMS fue la escala MSK, la cual es en sí misma una actualización basada en las experiencias disponibles en los años sesenta, deducidas de la aplicación de la escala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), la escala modificada de Mercalli (MM-31 y MM-56) y la escala de Medvedev, conocida también como escala GEOFIAN, que data de 1953. Medvedev propuso en 1976 y en 1978 pequeños cambios, casi indetectables, a la escala MSK-64. En ese tiempo se hizo evidente para muchos usuarios que la escala necesitaba varias mejoras, más claridad y ajustes para incorporar técnicas de construcción recientemente introducidas. Un Panel de Expertos Ad-Hoc llevó a cabo un análisis de los problemas que surgieron al aplicar la escala MSK-64 durante una reunión en Jena, en marzo de 1980 (publicado en Gerlands Beitr. Geophys., 1981, donde se incorporaron las propuestas previas de S. V. Medvedev). Las recomendaciones de este grupo de expertos con respecto a los cambios fueron de naturaleza menor. Esta versión sirvió como plataforma inicial para las actividades del Grupo de Trabajo.

Una de las principales intenciones para la creación de esta nueva escala era la de no cambiar la consistencia interna de la misma. Esto ocasionaría evaluaciones de intensidades que serían distintas con respecto a la aplicación de escalas de 12 grados comúnmente empleadas, lo que implicaría una reclasificación de todas las evaluaciones de intensidades llevadas a cabo con anterioridad. Esto debía evitarse a toda costa. Resultaría en una completa confusión en todos los estudios sobre sismicidad y amenazas sísmicas que dependen ampliamente de datos macrosísmicos.

Otros aspectos generales considerados como fundamentales para la actualización fueron:

- que la escala fuera robusta, es decir que diferencias menores en los diagnósticos no deberían provocar diferencias considerables en la asignación de intensidad; además, la escala debería ser comprendida y usada como una solución de compromiso, dado que ninguna escala de intensidades puede aspirar a abarcar todos los posibles desacuerdos entre diagnósticos que surjan en la práctica;
- que dichos desacuerdos puedan también reflejar diferencias en las condiciones culturales en las regiones donde se usa la escala;
- la simplicidad en el uso de la escala;
- el rechazo de correcciones por condiciones de suelo o efectos geomorfológicos, porque las observaciones detalladas de tipo macrosísmico deberían ser precisamente herramientas para encontrar y elaborar tales efectos de amplificación;
- el entendimiento de los valores de la intensidad como representativos para cualquier pueblo, pequeña comunidad o una parte de una ciudad en vez de ser asignadas a un punto (para una vivienda etc.).

Tomando como base estos aspectos, los problemas específicos a resolver por el Grupo de Trabajo de Escalas Macrosísmicas fueron:

- la necesidad de incluir nuevos tipos de edificios, especialmente aquellos que incluyen diseños sismorresistentes;
- la necesidad de enfocar un problema percibido con relación a una ausencia de linealidad en la escala en la intersección entre los grados VI y VII (el cual, después de una discusión extensa durante la preparación de las escalas EMS-92 y EMS-98 se confirmó como ilusorio);
- la necesidad de mejorar la claridad de la redacción en la escala;
- la necesidad de decidir qué concesiones se deben permitir para incluir edificios muy altos para las evaluaciones de intensidad;
- si se deben incluir directrices para equiparar intensidades a parámetros físicos de movimientos fuertes del suelo, incluyendo sus representaciones espectrales;
- diseñar una escala que no solamente satisfaga las necesidades de sismólogos, sino también las de ingenieros civiles y otros posibles usuarios;
- diseñar una escala que pueda ser adecuada también para la evaluación de terremotos históricos;
- la necesidad de una revisión crítica del uso de efectos macrosísmicos visibles en el suelo (derrumbes, fisuras, etc.) y la exposición de estructuras subterráneas a movimientos.

El término “intensidad macrosísmica” se usa aquí totalmente en el sentido de una clasificación de la severidad del movimiento del suelo en función de los efectos observados en un área limitada.

Los miembros del Grupo de Trabajo son conscientes de que las escalas macrosísmicas de doce grados son en la práctica escalas de diez grados; debido a que la intensidad I implica que no se haya observado nada y las intensidades XI y XII son, aparte de su limitada importancia

práctica, difíciles de distinguir. Si se considera el escaso uso práctico de las intensidades II y XI, así como el hecho de que la intensidad XII define efectos máximos, que no se espera que ocurran en la realidad, el resultado es una escala de ocho grados. Pero, como se ha mencionado anteriormente, para evitar confusiones se ha mantenido el sistema clásico de numeración.

La consideración para la evaluación de intensidades de construcciones antisísmicas o construidas con técnicas de ingeniería provocó serios problemas, por los siguientes motivos:

- lo limitado de los conocimientos y la experiencia hasta la fecha en lo que respecta al sistema de los patrones de daños provocados por terremotos para esta categoría de edificios;
- la gran variedad de sistemas para clasificar edificios construidos con técnicas de ingeniería en los códigos sísmicos;
- los desacuerdos entre ingenieros y sismólogos sobre el uso de intensidades y otros temas de investigación relacionados (por ejemplo, cierta tendencia entre ingenieros a sobreestimar la importancia de datos instrumentales en relación con las intensidades, que conlleva el peligro de sobrecargar el concepto de intensidad);
- la frecuentemente imprecisa aproximación sismológica a la asignación de intensidad relacionada a los tipos de edificios previamente usados en las escalas MSK-64 y MSK-56; esto es, la no consideración general de la calidad del trabajo, la regularidad estructural, la resistencia de materiales, el estado de reparación, etc., así como la necesidad de considerar tales atributos como las condiciones de escala.

Ya para la escala EMS-92 se aceptó que solamente con los principios de diseño sismorresistente como base se pueden usar edificios construidos con técnicas de ingeniería para la asignación de intensidades. Un paso esencial para resolver estos problemas se consiguió mediante la introducción de la Tabla de Vulnerabilidad, que proporciona la posibilidad de tratar distintos tipos de edificios y la variedad en sus rangos de vulnerabilidad con un solo esquema. En versiones antiguas de la escala se definían los tipos de edificios de forma estricta únicamente en función del tipo de construcción. Esta Tabla de Vulnerabilidad, considerada como un elemento esencial de la EMS, incorpora edificios construidos con y sin técnicas de ingeniería en un solo marco. Estaba claro desde el inicio que la versión EMS-92, con los compromisos adoptados en ella, tenía que entenderse como una solución experimental o tentativa, ligada al compromiso de adquirir más información y experiencia sobre el tema para poder introducir las mejoras necesarias. A tal efecto se estipuló un período de tres años. Se solicitó a los usuarios de esta versión exponer sus comentarios al coordinador del Grupo de Trabajo sobre “Escala Macrossísmica” para obtener mejoras adicionales.

En la etapa final de los tres años previstos para el período de prueba de la EMS-92 y después de aplicaciones por todo el mundo, quedó claro que la importancia del criterio personal al asignar intensidades puede reducirse gracias a la nueva escala. Esto no significa que la asignación de intensidad con la nueva escala sea más fácil en cualquier caso – pero los usuarios se dan cuenta de los casos problemáticos de una forma más directa. La introducción de la Tabla de Vulnerabilidad ha sido ampliamente reconocida, así como la introducción de las nuevas

definiciones de grados de daño y especialmente la guía para el uso de la escala de intensidad y los distintos anexos. Los nuevos tipos de edificios o aquellos que no están considerados en la Tabla de Vulnerabilidad pueden ser incorporados de forma apropiada. Generalmente, los aspectos de ingeniería incorporados en la nueva escala han sido valorados por los ingenieros. Dichos aspectos fueron el tema central en sesiones de conferencias internacionales de ingeniería sísmica y en particular de una sesión temática especial sobre la EMS-92 en la Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica en Acapulco en 1996. Los nuevos elementos de la EMS incorporados mediante la Tabla de Vulnerabilidad y los grados de daño han facilitado el uso de la escala a agentes de seguros, planificadores y tomadores de decisión para obtener escenarios de daños y riesgos para intensidades específicas. Se ha criticado principalmente la reducción de la importancia de los efectos en los entornos naturales sobre la asignación de intensidades. La aplicación de la EMS-92 esclareció que solamente las partes tentativas, es decir, la consideración de los edificios construidos con técnicas de ingeniería, requerirían modificaciones significativas.

La XXV Asamblea General de la ESC en Reykjavik en 1996 aprobó una resolución recomendando la adopción de la nueva Escala Macrosísmica entre los países miembros de la Comisión Sismológica Europea, considerando que se tendría que hacer un esfuerzo adicional para superar varias inconsistencias en el uso de estructuras construidas con técnicas de ingeniería.

Mientras que se llevaban a cabo estudios sobre el patrón estructural de varios terremotos, por ejemplo Northridge / EEUU 1994, Kobe / Japón 1995 y Aegión / Grecia 1995, otros eventos causantes de daños como Dinar / Turquía 1996, Cariaco / Venezuela 1997 e Italia Central 1997/98 brindaron información y experiencia adicionales. Estos condujeron finalmente, aunque sin un acuerdo completo, a la modificación de la Tabla de Vulnerabilidad con respecto a las estructuras reforzadas (hormigón armado, HA), el nivel de diseño resistente a terremotos y su diferenciación con respecto a estructuras con muros de HA y estructuras con armazones de HA, así como la introducción de las estructuras de acero. La redacción de las clasificaciones de grados de daño se estructuró nuevamente de forma parcial. El daño a los edificios como parte de las definiciones de grados de intensidad se ha ordenado más claramente.

Los anexos antiguos de la EMS-92 se incorporaron a la nueva sección de la EMS-98 titulada Directrices y Material de Referencia. Los editores son conscientes de las diferencias, a veces grandes, en el carácter de varias de las sub-secciones. El antiguo Anexo B con relación a estructuras construidas con técnicas de ingeniería se ha modificado notablemente. Estos aspectos se tratan ahora dentro de la sub-sección de Vulnerabilidad y están mejor integrados en la escala en general. Algunas partes de la guía anterior han sido modificadas, complementadas y organizadas de nuevo. Casi todas las fotografías del antiguo Anexo A que ilustraban clasificaciones de vulnerabilidad y grados de daño han sido reemplazadas con otros ejemplos de Europa y Japón. Los comentarios están ahora restringidos a los tipos de estructuras y grados de daño, ya que ilustrar la vulnerabilidad requeriría de un conjunto de ejemplos separados. Los ejemplos previos (antiguo Anexo D) han sido ampliados con una presentación asignando

intensidad en base a materiales históricos. Las restricciones y argumentos sobre cómo se pueden incorporar a la práctica macrosísmica los efectos en los entornos naturales (antiguamente Anexo C) se han revisado a la luz de nuevas investigaciones. De acuerdo con un deseo expresado con frecuencia se ha creado una versión corta de la EMS-98 (sub-sección 8). Aunque se ha expresado claramente al inicio de esta versión corta que la misma no es adecuada para la asignación de intensidades, existe el riesgo de que sea usada equivocadamente de esta manera. Esta versión corta se ha incluido con propósitos educativos, por ejemplo para escuelas, medios de comunicación o bien para dar una breve explicación sobre el significado de los números en la escala ante una audiencia incapaz de asimilar la versión completa.

Está más allá de los objetivos de la introducción tratar todos los “pero” y los “y si” que inevitablemente surgieron durante los procesos de actualización, tanto para la EMS-92, como para la EMS-98. En cada etapa del trabajo fue necesario encontrar el equilibrio adecuado entre la consistencia deseada de la versión actualizada con la escala original y varias ideas obviamente excelentes para mejorar la escala que sobrepasaron las metas definidas para el Grupo de Trabajo. Algunos de estos puntos están mencionados en la sección de Directrices y Materiales de Referencia (por ejemplo el problema de la correlación de intensidades con parámetros de movimientos fuertes del suelo). Otros podrían ser el tema de actividades posteriores. Uno de ellos será sin duda alguna la introducción de procedimientos formales (o algoritmos) para la evaluación computarizada de la intensidad macrosísmica. Hay que hacer hincapié en que crear tales algoritmos no ha sido una de las metas del Grupo de Trabajo, si no solamente crear las bases para los mismos, es decir, presentar definiciones actualizadas, cualitativas, descriptivas y tan claras como fuera posible, sobre lo que deben significar las distintas intensidades.

El proceso completo de establecer primero la EMS-92 y finalmente la EMS-98 se desarrolló durante casi diez años – incluyendo varios períodos largos de inactividad, que fueron esenciales para obtener experiencias adicionales. La versión actual de la EMS debe representar la subsiguiente etapa final de estas actividades de actualización de la escala. Las prácticas macrosísmicas adicionales facilitarán la comprensión de los complejos aspectos relacionados con la asignación de intensidades. Las aplicaciones o necesidades futuras servirán como base para la mejora de esta nueva herramienta en la práctica sismológica y de ingeniería para la clasificación de los efectos de los terremotos en los humanos, en los objetos en el entorno de los humanos, o en los edificios como un elemento esencial de la sociedad humana.

ESCALA DE INTENSIDAD MACROSISMICA

Clasificaciones usadas en la Escala Macrosísmica Europea (EMS)

Diferenciación de estructuras (edificios) en clases de vulnerabilidad (Tabla de Vulnerabilidad)

| | Tipo de Estructura | Clase de Vulnerabilidad | | | | | |
|----------------------|---|-------------------------|-----|-----|-----|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F |
| MAMPOSTERÍA | Paredes de peña 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 moderato 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 | | —○— | | | | |

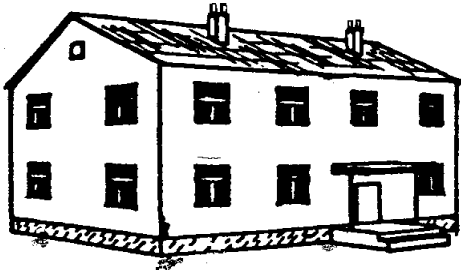
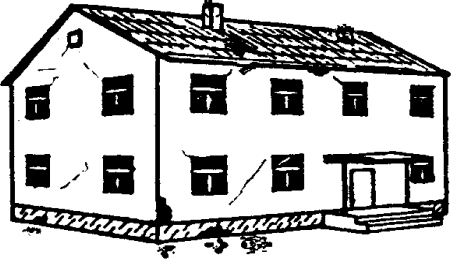
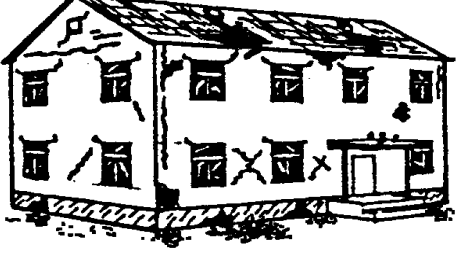

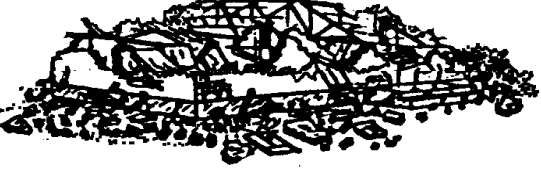
- Clase de vulnerabilidad más probable; — Rango probable;
 Rango de casos excepcionales, menos probables

Los tipos de estructura de mampostería se han de entender como, por ejemplo, “mampostería de roca simple”, mientras que las estructuras de hormigón armado (HA) se deben leer como, por ejemplo, “armazón de HA” o “muro de HA”.

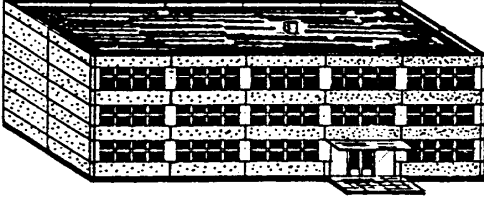
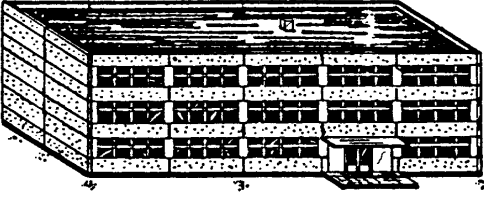
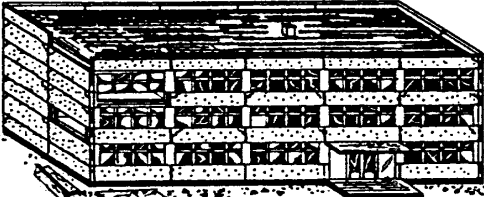


Vea la sección 2 de las Directrices y Materiales de Referencia para más detalles, también sobre el uso de estructuras con diseños sismorresistentes.

Clasificación del daño

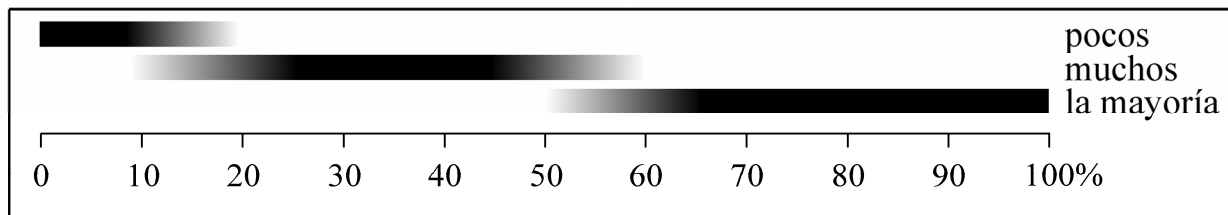
Nota: la forma en la cual se deforma un edificio bajo la carga sísmica depende del tipo de edificio. En una primera clasificación general se pueden distinguir los tipos de edificios de mampostería y los edificios de hormigón armado.

| Clasificación del daño a edificios de mampostería | |
|---|---|
|  | <p>Grado 1: Sin daños a daños leves (Sin daño estructural, daño no estructural leve)</p> <p>Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.</p> |
|  | <p>Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)</p> <p>Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.</p> |
|  | <p>Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)</p> <p>Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).</p> |
|  | <p>Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)</p> <p>Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.</p> |
|  | <p>Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)</p> <p>Colapso total o casi total.</p> |

Clasificación del daño a edificios de hormigón armado

| | |
|---|---|
|  | <p>Grado 1: Sin daños a daños leve (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas delgadas en el guarnecido sobre elementos de la estructura o en la base de los muros. Grietas delgadas en particiones y tabiques.</p> |
|  | <p>Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.</p> |
|  | <p>Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo) Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desconchamiento del revestimiento de hormigón, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.</p> |
|  | <p>Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión de hormigón y fractura de barras corrugadas; Fallos en la junta de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.</p> |
|  | <p>Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo) Colapso de la planta baja o de partes de edificios (por ejemplo alas).</p> |

Definiciones de cantidad



Definiciones de grados de intensidad

Estructura de la escala:

- a) Efectos en las personas
- b) Efectos en objetos o en la naturaleza
(Los efectos en el suelo y el fallo del suelo se tratan especialmente en la sección 7)
- c) Daños a edificios

Comentario preliminar:

Cada grado de intensidad puede incluir también los efectos de vibración del grado o grados de intensidad inferior correspondientes, aun cuando estos efectos no se mencionen explícitamente.

I. No se ha sentido

- a) No sentido, aun en las condiciones más favorables.
- b) Sin efecto.
- c) Sin daños.

II. Apenas sentido

- a) El temblor es sentido sólo en casos aislados (< 1%) por individuos en reposo y en una posición especialmente receptiva en el interior de un edificio o vivienda.
- b) Sin efecto.
- c) Sin daños.

III. Débil

- a) El temblor es sentido en el interior de viviendas y edificios por algunas pocas personas. Las personas en reposo sienten un balanceo lento o temblor leve.
- b) Los objetos colgantes se mecen levemente.
- c) Sin daños.

IV. Observado ampliamente

- a) El temblor es sentido por muchas personas en el interior y sólo por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o balanceo del edificio, dormitorio, cama, silla, etc.
- b) La porcelana, vasos, ventanas y puertas traquetean. Los objetos colgantes se balancean. Los muebles ligeros vibran notablemente en algunos pocos casos. En algunos casos los objetos de carpintería crujen.
- c) Sin daños.

V. Fuerte

- a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas pocas personas se asustan y corren al exterior. Muchas personas se despiertan. Los observadores sienten una fuerte vibración del edificio, dormitorio o de los muebles.
- b) Los objetos colgantes se mecen considerablemente. La porcelana y los vasos entrechocan y repiquetea. Los objetos pequeños que son más pesados en su parte alta o bien los objetos que se sostienen de forma precaria se pueden mover o caer. Las puertas y ventanas se abren o se cierran. En algunos pocos casos los cristales de las ventanas se pueden quebrar. Los líquidos oscilan y se pueden derramar de contenedores llenos hasta el borde. Los animales en el interior se pueden inquietar.
- c) Daños de grado 1 en algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad A y B.

VI. Daños leves

- a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por muchos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchas personas se asustan y corren al exterior.

- b) Los objetos pequeños de estabilidad normal pueden caerse y los muebles pueden desplazarse. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Los animales de granja se pueden asustar (incluso aquellos que se encuentran en el exterior).
- c) Daños de grado 1 a muchos edificios de clase de vulnerabilidad A y B; algunos pocos de clase A y B sufren daños de grado 2; algunos pocos de la clase C sufren daños de grado 1.

VII. Daños

- a) La mayoría de las personas se asustan y tratan de correr hacia el exterior. A muchos les cuesta mantenerse de pie, especialmente en los pisos altos.
- b) Los muebles se desplazan y los muebles que son más pesados en su parte superior pueden volcarse. Se caen los objetos de los estantes en gran número. El agua salpica en los contenedores, tanques y piscinas.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.
Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2.
Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 1.

VIII. Daños severos

- a) Mucha gente encuentra difícil mantenerse de pie, incluso en el exterior.
- b) Los muebles pueden volcarse. Se caen los objetos tales como televisiones, máquinas de escribir, etc. Las lápidas pueden desplazarse o caerse. Se pueden ver ondas en suelos muy suaves.
- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.
Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2.

IX. Destructivo

- a) Pánico general. El terremoto tira a la gente al suelo.
- b) Muchos monumentos y columnas se caen o se retuercen. Se ven ondas en suelos suaves.

- c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.
Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2.

X. Muy destructivo

- c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.
Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2.

XI. Devastador

- c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.
La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y muchos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.

XII. Totalmente devastador

- c) Todos los edificios de clase de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C quedan destruidos. La mayoría de los edificios de las clases D, E y F quedan destruidos. Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles.

DIRECTRICES Y MATERIAL DE REFERENCIA

1 Asignando intensidad

1.1 *La naturaleza de la intensidad*

Como se mencionó en la introducción a esta escala, se considera aquí la intensidad como una clasificación de la severidad del movimiento del suelo a partir de los efectos observados en un área limitada. Las escalas de intensidad y el concepto de intensidad en sí mismo han evolucionado a lo largo de este siglo. Desde una pura clasificación jerárquica de los efectos, se ha tratado, cada vez más, de desarrollar la intensidad como un instrumento aproximado para medir la vibración.

En consecuencia, la escala de intensidad es en cierta forma similar al sistema de taquigrafía, desde el punto de vista de que permite una compresión de la descripción verbal de los efectos de un terremoto mediante un único símbolo (normalmente un número). Describir la intensidad de esta manera resulta útil para mostrar las limitaciones del concepto. La intensidad tiene el carácter descriptivo de un relato en prosa, más que un carácter analítico del tipo de una medición instrumental. La intensidad permite el análisis y la interpretación, es sin duda un parámetro muy útil y sus usos sobrepasan lo que se puede conseguir con una simple recopilación de descripciones. Pero se necesita tener presente su naturaleza básica para no sobrecargar el concepto con expectativas que no puede cumplir.

Cualquier escala de intensidad consiste de una serie de descripciones de los efectos producidos por distintos grados de temblores sísmicos sobre una serie de objetos que se pueden encontrar en el ambiente cotidiano. Estos objetos se pueden considerar como sensores, puesto que su respuesta al temblor se usa para medir la fuerza del mismo. No son partes de algún equipo especial instalado por el investigador, sino que por ser parte del ambiente normal, estos sensores son extremadamente comunes. Esta es una de las grandes ventajas de la intensidad como herramienta: no requiere de instrumentos para ser medida.

Los sensores usados históricamente en escalas de intensidad pueden dividirse en cuatro grupos:

Seres vivos - gente y animales. Según aumenta la intensidad una mayor proporción de gente o animales (a) nota las vibraciones y (b) se asusta debido a ellas.

Objetos ordinarios. Según aumenta la intensidad, un mayor número de objetos domésticos ordinarios (utensilios de cocina, libros, etc.) empiezan a vibrar, desordenarse y caer al suelo.

Edificios. Según aumenta la intensidad los edificios experimentan progresivamente mayores daños.

El ambiente natural. Según aumenta la intensidad, existe una mayor probabilidad de que se manifiesten efectos tales como grietas en diques y terraplenes, caídas de rocas, etc.

La Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) se concentra principalmente en los primeros tres de estos cuatro grupos. El cuarto se considera menos fiable, como se explica en la sección 7.

Cualquier efecto particular en uno de estos sensores se puede considerar como un diagnóstico. Por ejemplo “algunas pocas personas se asustan y corren al exterior” es una reacción particular manifestada por uno de los posibles sensores (las personas), y es considerada por la escala de intensidad como un diagnóstico para una vibración de grado 5. La descripción de cada grado de intensidad está compuesta de varios de estos diagnósticos, los cuales han sido considerados por los autores de la escala como representativos de la misma fuerza o vibración.

Cuando el usuario de la escala ha obtenido todos los datos descriptivos disponibles de un lugar particular para un terremoto concreto, debe comparar los datos con los grupos de diagnósticos para determinar la intensidad que se experimentó en ese lugar y decidir con cuál de los grupos de diagnósticos se corresponde mejor con el conjunto de las observaciones. Esta es, es su forma más simple, la manera en la que se usa una escala de intensidad para asignar intensidades.

La EMS-98 reconoce la naturaleza estadística de la intensidad, es decir que en cualquier lugar un efecto específico se suele observar solamente en parte de los casos y que esa proporción sea pequeña o grande es en sí misma indicativa de la fuerza de la vibración. Otras escalas anteriores describen frecuentemente sólo los efectos, pero no las cantidades, suponiendo que el mismo efecto es universal para todos los sensores cuando la intensidad alcanza cierto valor.

1.2 La estructura de la escala de intensidad EM-98

La escala de intensidad EM-98, al igual que la escala MSK que la precedía, pertenece a una familia de escalas de intensidad cuyo origen fue la popular escala de diez grados elaborada por Rossi y Forel; esta fue revisada por Mercalli, posteriormente expandida a doce grados por Cancani, y después definida en una forma muy completa por Sieberg como la escala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Esta es la escala que sirve de punto de partida no solamente para la escala MSK/EM-98 sino también para numerosas versiones de la escala “Mercalli Modificada”. La mayoría de estas escalas de doce grados son aproximadamente equivalentes en sus valores actuales, y sólo se diferencian en el grado de sofisticación empleado para su formulación.

La mayor diferencia entre la escala EM-98 y las otras escalas de intensidad radica en el detalle con el cual se definen los diferentes términos usados, en concreto el tipo de edificio, el grado de daño y las cantidades, de tal manera que éstos se consideran ahora individualmente. También, la Escala Macrosísmica Europea es la primera escala de intensidad en ser ilustrada. Varios dibujos muestran de forma gráfica y precisa lo que significan los distintos grados de daño, y las fotografías a modo de ejemplo en la sección 5 pueden ser usadas en el campo para

comparaciones con casos reales de estructuras dañadas. El propósito de estas ilustraciones es la estandarización del uso de la escala. Del mismo modo, la incorporación de éstas directrices (otra innovación) debería reducir las ambigüedades y clarificar las intenciones detrás de la construcción de la escala.

1.2.1 Tipos de edificios y clases de vulnerabilidad

En una escala de intensidad muy simple, todos los daños que sufre un tipo particular de edificios se agruparían juntos, independientemente de la resistencia de los edificios dañados. Esto sería fácil de usar, pero podría conducir a resultados erróneos en un área donde hubiera diferencias notables en la construcción de edificios (por ejemplo, por la regularidad estructural, la resistencia de los materiales, o el estado de mantenimiento). En el otro extremo, se puede imaginar una escala de intensidad en la que fuera necesario conocer exactamente las características y propiedades de un edificio antes de poder determinar la fuerza de la vibración que produjo los daños observados. Esto pudiera ser muy exacto, pero es imposible de usar en la práctica.

La Escala Macrosísmica Europea incorpora una solución intermedia en la cual se ha utilizado una simple diferenciación en la resistencia de los edificios a las vibraciones ocasionadas por terremotos (vulnerabilidad), con el fin de proporcionar una forma robusta de diferenciar cómo pueden responder los edificios a las vibraciones provocadas por terremotos. La Tabla de Vulnerabilidad es un intento de categorizar la resistencia de las estructuras de una forma manejable, tomando en consideración el tipo de estructura y otros factores. Esto es un adelanto con respecto a escalas previas, las cuales usan solamente el tipo de construcción como un equivalente de vulnerabilidad.

El uso de letras para identificar varios tipos de edificios apareció con la versión de Richter de 1956 de la escala Mercalli Modificada y se mantuvo posteriormente en la escala MSK de 1964. Esta subdivisión no se hace por interés arquitectónico, sino que representa diferentes niveles de vulnerabilidad de una forma elemental. El mismo grado de vibración que destruiría una cabaña de adobe podría tener un efecto mucho menor en un complejo de oficinas bien construido con técnicas modernas. Sin embargo, es igualmente obvio que el estado de un edificio y otros factores aparte del tipo de construcción también afectan a su vulnerabilidad.

En la opinión de los autores de la escala EM-98, algunos sismólogos experimentados e ingenieros que usaban la escala MSK estaban ya, en la práctica, adoptando modificaciones no oficiales para manejar los aspectos de vulnerabilidad más allá de la simple consideración del tipo de construcción. Por esta razón era necesario introducir en la EM-98 algunas modificaciones sobre el tratamiento de vulnerabilidad para hacer explícito lo que ya se estaba usando como el método más correcto.

Esto se hace aquí de forma gráfica en la Tabla de Vulnerabilidad. Esta tabla presenta una línea para cada tipo de edificio, mostrando su(s) clase(s) de vulnerabilidad más probable(s), así como su rango verosímil (mostrado como una línea punteada donde es incierto). La posición a lo largo de esta línea tiene que encontrarse tomando en cuenta factores tales como el posible mal estado del edificio, la calidad de la construcción, irregularidad en la forma del edificio, el nivel de diseño sismorresistente (DSR) y así sucesivamente. Esto se discute con más detalle en la Sección 2.

1.2.2 Grados de daño

También se ha llegado a una solución intermedia en lo que respecta a los grados de daño. Idealmente, los grados del 1 a 5 deberían representar un aumento lineal en la fuerza de la vibración. Esto es cierto sólo de forma aproximada, y dichos grados están fuertemente condicionados por la necesidad de describir clases de daño que puedan distinguirse fácilmente por el usuario. Ha de notarse que no se mencionan todas las combinaciones posibles de clases de vulnerabilidad y grados de daño para cada grado de la escala; normalmente, para una clase de vulnerabilidad concreta sólo se mencionan los dos mayores grados de daño, y se asume que un número proporcionado de edificios sufrirá daños de menor grado (ver Sección 4.6).

Un aspecto que no se había considerado en las versiones previas de la escala es el hecho de que los distintos tipos de edificios responden y fallan en formas distintas, lo que se ha incluido en esta versión al separar los apuntes ilustrados sobre daños en edificios de mampostería y de hormigón armado. Los lugares donde ocurren los daños y los patrones de daños también pueden ser distintos dependiendo de si las estructuras han sido construidas con o sin técnicas de ingeniería.

Es importante apreciar la diferencia entre los daños estructurales y no estructurales, así como distinguir cuidadosamente entre los daños al sistema primario (estructura/elementos de carga) y daños a elementos secundarios (no estructurales), como tabiques o fachadas ligeras. En el caso especial de estructuras con DSR, también debe distinguirse entre daños en zonas especiales de plastificación (tales como vigas de unión en muros de carga, juntas en edificios de muros prefabricados o vigas en las juntas de las estructuras porticadas).

Se recomienda examinar los edificios por dentro y por fuera, dado que las apariencias externas pueden conducir a conclusiones erróneas (aunque algunas veces puede ser difícil acceder al interior de los edificios por razones de seguridad).

No se deben considerar los daños causados por fenómenos colaterales al terremoto, sino solamente los daños provocados por el propio temblor. Entre tales fenómenos se incluyen los daños causados por los golpes entre edificios muy cercanos, con espacio insuficiente entre ellos, los corrimientos de tierra, los problemas en laderas y la licuefacción. Por el contrario, unos daños mayores que lo esperado debido a factores tales como las condiciones de resonancia

o que la carga sísmica sobrepase el nivel previsto en el diseño sismorresistente son productos de la vibración debida al sismo y pueden ser considerados como tales.

En el caso concreto de las estructuras de ingeniería con DSR, la progresión de daños puede no aumentar de forma lineal con la vibración. Esto se puede explicar por medio de principios modernos de diseño, referentes al rendimiento de estructuras diseñadas con técnicas de ingeniería, bajo distintas condiciones de intensidad de terremotos modelo. En particular:

- a) Las estructuras diseñadas contra sismos de baja intensidad, los cuales tienen una alta probabilidad de ocurrencia, deberían soportar tales eventos sin sufrir daños estructurales y sin daños, o bien con daños menores, que puedan afectar a su funcionalidad.
- b) A las estructuras diseñadas contra sismos de intensidad mediana, los cuales tienen una menor probabilidad de ocurrencia, se les permite explícitamente reaccionar ante tales sismos modelo con leves daños no estructurales, pero deben sobrevivir sin pérdida de funcionalidad.
- c) Las estructuras diseñadas contra terremotos de gran intensidad han de ser capaces de sufrir daños estructurales sin pérdida de integridad estructural y estabilidad. Para este nivel de diseño se permiten daños, pero no deben exceder el grado 3.

Consecuentemente puede haber una saturación de daños en los grados 2 y 3. Según los resultados de la inspección de daños, puede ser necesario en algunos casos diferenciar las clases de vulnerabilidad dependiendo de la intensidad. En otras palabras, las estructuras diseñadas con técnicas de ingeniería con DSR tienden a pertenecer a clases de vulnerabilidad más altas según aumenta la intensidad.

Se ha de tener muy presente que cuando se investigan los daños causados por las réplicas sísmicas los edificios pueden ser más vulnerables de lo que ordinariamente serían debido al daño (tal vez no muy visible) causado por el terremoto principal. Esto se debe tomar en consideración cuando se establece la vulnerabilidad.

1.2.3 Cantidades

El uso de términos cuantitativos (“pocos”, “muchos”, “casi todos”) proporciona un elemento estadístico importante en la escala. Es necesario confinar este elemento estadístico a términos amplios, dado que cualquier intento de presentar la escala como una serie de gráficas mostrando porcentajes exactos sería imposible de aplicar en la práctica y destruiría la robustez de la escala. Sin embargo, definir estos términos numéricamente no es fácil. Si “pocos”, “muchos” y “casi todos” se definen como tres rangos continuos de porcentajes (por ejemplo 0-20%, 20-60%, 60-100%), aparece el efecto indeseable de que un pequeño aumento en el porcentaje en alguna observación puede llevar a sobrepasar un umbral y aumentar la intensidad en un grado, mientras que en otro caso el mismo aumento no sobrepasaría un umbral y no tendría el mismo efecto. Una definición en la que los intervalos se traslapen mucho (0-35%, 15-65%, 50-100%)

conllevaría problemas de ambigüedad para algún valor observado en el rango común a dos intervalos (por ejemplo 25%) y las definiciones con separaciones amplias (0-20%, 40-60%, 80-100%) ocasionarían problemas similares, ya que un valor concreto podría pertenecer a un rango indefinido. Para esta versión de la escala se ha llegado a una solución intermedia, usando definiciones con pequeños rangos comunes entre intervalos, pero ninguna solución es ideal. El objetivo en este caso ha sido el de tratar de maximizar la robustez de la escala, algo que se debe tener en cuenta cuando se usen las definiciones de cantidades aquí presentadas. Esto se presenta aquí muy deliberadamente en una forma gráfica que enfatiza el hecho de que estas categorías están definidas de una manera difusa y no exacta.

En el caso particular en el cual una cantidad determinada con precisión cae en el área de común a dos intervalos, el usuario deberá considerar las implicaciones de clasificarla en una categoría o en otra, usando para este propósito otros datos disponibles referentes al mismo sitio con el fin de lograr la mayor consistencia posible.

1.3 Intensidad y localización

La intensidad está esencialmente ligada a la localización y normalmente sólo puede ser considerada con referencia a un lugar especificado, por ejemplo “la intensidad en Pienza fue 5” (o más correctamente, “la intensidad en Pienza fue estimada en 5”). El decir “la intensidad del terremoto fue 8”, sin indicación del lugar, es inapropiado. (No obstante, sí se podría decir que “la mayor intensidad observada para el terremoto fue 8”.)

Por esta razón es necesario clasificar los datos por lugares antes de empezar a asignar intensidades. Es necesario asegurarse de que (a) todos los datos que han de usarse para asignar una intensidad proceden del mismo sitio, y que (b) todos los datos disponibles para dicho sitio se han agrupado. Cuando los datos consisten en encuestas a individuos o en observaciones individuales en el campo, estos datos se deberían combinar para cada lugar a fin de determinar en cuántas instancias se observó o no un diagnóstico.

El concepto de intensidad gira alrededor de la idea de que, para un sitio particular afectado por algún terremoto, cierto nivel de severidad de la vibración es característico de los efectos experimentados. Esto implica, en primer lugar, que el asentamiento es suficientemente grande para que se pueda obtener una muestra estadísticamente significativa, sin ser afectado por peculiaridades locales de pequeña escala y, en segundo lugar, que no es tan grande como para que las variaciones locales genuinas no desaparezcan.

Por lo tanto, la intensidad no se debe asignar a un solo edificio o calle, ni tampoco debería ser asignada a una metrópolis o un país. Por lo general, el lugar más pequeño no debería ser menor que una aldea y el lugar más grande no debería ser mayor que una ciudad europea de tamaño moderado. Así pues, es razonable asignar un único valor de intensidad a, digamos, Piraeus, pero no a toda la

moderna Atenas. No se establecen reglas estrictas, ya que las circunstancias individuales influirán en la decisión del usuario para cada caso particular.

También es deseable asignar valores a sitios que son razonablemente homogéneos, especialmente en lo que respecta a tipos de suelos. De otro modo el rango de efectos causados por las vibraciones puede ser muy amplio. Sin embargo, esto no siempre se puede lograr, dependiendo de la precisión de los datos y de cómo hayan sido obtenidos. En el caso de que una población presente condiciones geotécnicas muy variables (por ejemplo, una mitad puede estar situada en un banco aluvial y la otra en una meseta) se deberían asignar distintos valores de intensidad para las distintas partes de la población de forma independiente.

1.4 Estableciendo el grado

Las descripciones bajo cada grado de intensidad se han idealizado como “fotos en palabras” de los efectos que se esperan para cada nivel de intensidad. Cada efecto descrito en la escala puede considerarse como un diagnóstico, una prueba, con el cual se pueden comparar los datos. Establecer el grado consiste en comparar los datos con las descripciones ideales de la escala y decidir cuál concuerda mejor.

No se debe esperar que los datos satisfagan todos los diagnósticos en todos los casos. Por ejemplo, algunos diagnósticos pueden simplemente no estar presentes. Se recomienda entonces adoptar un enfoque flexible al buscar el mejor ajuste con respecto al conjunto de datos disponibles, en vez de intentar establecer una fórmula rígida que dependa de uno o dos diagnósticos específicos.

Aunque existe un elemento de subjetividad al asignar intensidades, los investigadores experimentados raramente encontrarán desacuerdos significantes entre ellos. En la gran mayoría de los casos la asignación de intensidad es sencilla; siempre pueden aparecer casos problemáticos, pero estos son por lo general excepcionales. Es imposible establecer directrices para cubrir cualquier eventualidad, pero los siguientes comentarios pueden ser útiles.

En la vida real, los datos disponibles no siempre se ajustarán en todos los aspectos a las descripciones que se presentan para los grados de intensidades. En tales casos el investigador deberá decidir qué grado proporciona el mejor ajuste a los datos de los que dispone. A tal fin, es importante buscar un elemento de coherencia entre todos los datos, más que depender de un solo diagnóstico como criterio. Es necesario ser cauteloso y no dar demasiado peso a las observaciones extremas ocasionales, porque esto podría llevar a una sobreestimación de la intensidad en el lugar en cuestión. Por ejemplo, basarse en exceso en los daños como diagnóstico ha llevado a sobreestimaciones de la intensidad en el pasado, en casos en los que daños aislados o incluso anómalos han sido usados como base para asignar una intensidad 6 o mayor aunque otros muchos datos sugirieran un valor menor.

Cuando los datos se basan en descripciones textuales, los efectos pueden estar descritos en términos alejados de los usados en la escala de intensidad. En tales casos puede ser útil considerar si la impresión general de la descripción es comparable con el carácter general de un grado de la escala de intensidad.

En los casos donde todas las construcciones locales son de clase de vulnerabilidad A y la mayoría de los edificios están destruidos, no es posible distinguir entre las intensidades 10, 11 o 12. Este es un efecto de saturación que no puede evitarse en la práctica.

Algunas veces no puede hacerse una asignación definitiva de intensidad y solamente se puede proporcionar un rango de valores. Esto se discute con más detalle en la sección 4.5.

Las fotografías de la sección 5 se pueden usar como ayuda para asignar los grados de daño. Además, en la sección 6 se presentan varios ejemplos de asignaciones de intensidades, “a partir de datos documentales” y de “datos de un cuestionario”. No se pretende que estos ejemplos sean tomados como modelos para ser aplicados rígidamente, sino más bien como ilustración de los procesos de evaluación que se pueden usar.

1.5 *Uso de información negativa*

La información de que un efecto definitivamente no se ha manifestado es tan valiosa para determinar la intensidad como la información de que sí ocurrió, y no debe ser ignorada. Por ejemplo, la descripción “el terremoto fue muy alarmante para todos los habitantes de Slavonice pero no hubo daños de ningún tipo” es indicativo de que la intensidad no alcanzó el grado 6 EMS. Sin embargo, asumir automáticamente que el efecto no ocurrió solamente porque no se informara del mismo es peligroso e inválido a menos de que existan razones específicas que justifiquen esta aseveración. Si el informe hubiera expresado solamente “un terremoto muy alarmante ocurrió en Slavonice”, la existencia o no de daños sería desconocida a menos que existieran razones muy buenas para suponer que el autor habría sabido de los daños y los habría mencionado de haber ocurrido.

1.6 *Inferencias inválidas*

Un punto que surge de la naturaleza estadística de la intensidad es que no hay efecto alguno que sea certero. Esto es importante cuando se trata de inferir una conclusión negativa en vez de una positiva. Por ejemplo, la existencia de varias columnas esbeltas antiguas en una región particular puede ser usada para sugerir que la exposición general de la región a terremotos pasados ha sido leve, pero no sería adecuado concluir de una sola torre que cierto valor de intensidad nunca se haya sobrepasado en la localidad durante el tiempo de vida de dicha torre.

1.7 Edificios altos y otros casos especiales

En algunos casos puede no ser aconsejable intentar usar ciertos datos para asignar intensidades. Un caso particular es el de las observaciones en edificios altos. Se sabe bien que las vibraciones fuertes causadas por terremotos normalmente se notan más por la gente en los pisos más altos que en los más bajos. Ha habido varios intentos de sugerir la reducción de la intensidad en un grado para cada cierto número determinado de pisos, pero dicha práctica nunca ha contado con la simpatía general de los usuarios. Igualmente, dado que los edificios muy altos pueden responder de formas particulares según la frecuencia de la vibración y el diseño del edificio, el incremento en la severidad de la vibración con la elevación puede ser irregular. La práctica recomendada es la de descartar los informes de observadores situados por encima de un quinto piso cuando se asigne la intensidad. En la práctica el comportamiento individual de los edificios varía considerablemente, especialmente dependiendo de la esbeltez del edificio. Por lo general, el usuario deberá preocuparse más de los efectos observados bajo condiciones normales que de los casos excepcionales.

Un caso especial es la situación en la cual sólo se tiene informes de edificios altos, porque la vibración fuera tan leve que sólo se percibiera en los pisos altos de estas estructuras. Este tipo de información es típico de intensidad 2.

Así como la altura de los edificios, su simetría y regularidad también afectan a la forma en la cual se comportan durante un terremoto (ver sección 2). Esto es particularmente cierto con respecto a los daños y concierne a todo tipo de edificios, no solamente aquellos construidos con técnicas de ingeniería. Cuanto más regular y simétrico sea el diseño, mejor soportará el edificio la vibración provocada por un terremoto.

No se deben emplear observaciones de ciertas estructuras, tales como faros, torres de transmisión de radio, puentes, etc. Lo mismo se aplica a edificios monumento (tales como catedrales), pero vea la Sección 3.5 a este respecto. Los datos de observadores bajo tierra tampoco son fácilmente comparables con las observaciones efectuadas en la superficie y no deberían ser usados.

1.8 Efectos debidos a condiciones de suelo.

Nunca se debe intentar descartar o reducir la asignación de intensidades por el hecho de que las condiciones del suelo influyeran en los efectos. El aumento en la vibración debido a la aceleración provocada por la amplificación de sitio o las condiciones topográficas son parte de los efectos de los cuales la intensidad es un registro, y parte del riesgo al cual está expuesto el conjunto de las construcciones. Por lo tanto, no se debe descartar. Si se informa de efectos anómalos y fuertes en áreas aluviales distantes de otras áreas donde se hayan observado efectos fuertes, el procedimiento correcto es el de asignar intensidades altas tal y como corresponde a dichos efectos. Entonces es posible interpretar estas altas intensidades como debidas a la

amplificación por la respuesta del sitio (aunque, por supuesto, esta puede ser una entre varias causas contribuyentes). Cualquier otro enfoque contradice la naturaleza básica de la intensidad como medida de los efectos observados en el caso de un terremoto.

1.9 Notación

Se solía considerar como convención el representar las intensidades usando números romanos, bien para distinguirlos más claramente de las magnitudes o para expresar la naturaleza entera de la escala. Sin embargo, dado que los ordenadores no manejan fácilmente los números romanos, esta convención está pasando de moda. El uso de números romanos o arábigos puede ser considerado hoy en día como cuestión de gusto.

Existe también un conjunto de símbolos convencionales para representar intensidades, basado en círculos en los cuales una cierta porción se llena de acuerdo con los valores de la intensidad.

2 Vulnerabilidad

La palabra “vulnerabilidad” se usa a lo largo de esta escala para expresar las diferencias en la forma en la que responden los edificios a las vibraciones ocasionadas por terremotos. Si dos grupos de edificios son sometidos exactamente a la misma vibración ocasionada por un terremoto y un grupo responde mejor que el otro, se puede decir que los edificios menos dañados poseen una menor vulnerabilidad sísmica que los edificios más dañados, o que los edificios menos dañados eran más sismorresistentes que los otros y viceversa. Este uso no es necesariamente el mismo que tendría la palabra “vulnerabilidad” en otros contextos. La siguiente discusión ilustra cómo se aplica el término en la EMS, con el objetivo principal de demostrar cómo se debe asignar la clase de vulnerabilidad.

2.1 *Vulnerabilidad de edificios en escalas de intensidad – una perspectiva histórica*

El concepto de vulnerabilidad es fundamental en la construcción de las escalas modernas de intensidad. La cantidad de vibración que se requiere para destruir una cabaña pobremente construida con ladrillos de barro no es la misma que la que se requiere para destruir un complejo masivo de oficinas y tales diferencias necesitan ser consideradas. Esto se puede comparar con los efectos que provoca la vibración ocasionada por un terremoto en objetos que se pueden desplazar: un lápiz sobre un escritorio puede rodar y caer incluso con una pequeña vibración, mientras que la fuerza de la vibración que se requiere para tirar una máquina de escribir al suelo es mucho mayor. Indicar solamente que “los objetos se desplazaron” sin consideración del tipo de objeto no permite hacer una buena discriminación entre vibraciones de distinta fuerza. Una diferenciación similar se requiere con los edificios y los daños a edificios.

Esto ya se reconoció en las etapas iniciales del diseño de las escalas de intensidad. Aquellas escalas iniciales que no hacían distinción entre los tipos de edificios fueron generalmente aquellas que se diseñaron para ser usadas en áreas geográficas restringidas, donde era posible asumir “viviendas promedio” sin entrar en mayores detalles. Tales escalas tampoco necesitaban considerar áreas con construcción generalizada en acero y hormigón armado tales como los centros urbanos modernos. Las escalas posteriores, en las que se intentó que fueran más generales en su aplicación, y en concreto que fueran aplicables en el contexto de construcciones modernas (tales como la escala Modificada de Mercalli en su formulación de 1956 por Richter, o la escala MSK en 1964) tuvieron que enfocar este aspecto cuidadosamente. Esto se hizo clasificando los edificios en distintas categorías según el tipo de estructura, es decir los materiales de construcción empleados para los sistemas de resistencia de cargas laterales. De esta forma, el tipo de edificio se usó como un simple análogo de la vulnerabilidad.

Este es un punto importante que se debe enfatizar. Se puede pensar que un tratamiento explícito para la vulnerabilidad de edificios en la EMS representa una innovación sustancial. En realidad,

esto representa una continuación directa de las escalas MSK y MM. Los tipos de edificios no se distinguieron en esas escalas por consideraciones estéticas, sino porque esta era una manera fácil de enfocar el problema de la vulnerabilidad, aun cuando esta palabra no se usara explícitamente. Sin embargo, desde la formulación de esas escalas se hizo evidente que el simple uso de tipos de edificios como un análogo de la vulnerabilidad es insuficiente. En primer lugar, se ha encontrado que las variaciones en la resistencia dentro de un mismo tipo de edificios pueden ser en ocasiones tan grandes como las variaciones entre tipos distintos de edificios, y esto conlleva ciertos problemas al asignar intensidades. En segundo lugar, tal sistema es relativamente inflexible cuando se necesita añadir nuevos tipos de edificios.

2.2 Tipos de edificios y la Tabla de Vulnerabilidad

La escala MSK definió clases de edificios en base a tipos de construcción como un simple intento para expresar la vulnerabilidad de los edificios. En la EMS se ha intentado acercarse más a unas clases que representen vulnerabilidad directamente. En consecuencia, se han propuesto seis clases de vulnerabilidad decreciente (A-F), de las cuales las primeras tres representan la resistencia de una vivienda “típica” de adobe, una construcción de ladrillos y una estructura de hormigón armado (HA), que deberían ser compatibles con las clases de edificios A-C en las escalas MSK-64 y MSK-81. Las clases D y E pretenden representar descensos aproximadamente lineales en la vulnerabilidad como resultado de mejores diseños sismorresistentes (DSR), y también acomodar los casos de construcciones de madera bien construidas, mampostería reforzada o confinada, y estructuras de acero, de las cuales se conoce su resistencia a las vibraciones ocasionadas por terremotos. Con la clase F se pretende representar la vulnerabilidad de una estructura con un nivel alto de diseño sismorresistente, esto es, una estructura con la más alta resistencia a terremotos gracias a la incorporación de principios de diseño.

Para determinar la vulnerabilidad de una estructura ordinaria en el campo, el primer paso es obviamente la determinación del tipo de edificio. Esto proporciona la clase básica de vulnerabilidad. Cada uno de los tipos de edificios más comunes en Europa está representado mediante una entrada en la Tabla de Vulnerabilidad que muestra la clasificación más probable en términos de la clase de vulnerabilidad, así como también el rango de variación que se puede encontrar. Los tipos de edificios en la Tabla de Vulnerabilidad están clasificados en base a grupos principales: mampostería, HA, acero y madera, grupos que se discuten a continuación con más detalle.

La Tabla de Vulnerabilidad incluye entradas para la mayoría de los principales tipos de edificios de Europa. Por razones de espacio, el listado de tipos está necesariamente simplificado. Se aprecia que la tabla está incompleta, en el sentido de que algunos tipos de edificios (por ejemplo, adobe, madera) se beneficiarían de una sub-clasificación adicional. En la sección 2.5 se presentan algunas ideas sobre cómo introducir nuevos tipos de edificios, pero esta no es una tarea que se deba acometer a la ligera.

2.2.1 Comentarios generales sobre la resistencia a terremotos

En la construcción de la Tabla de Vulnerabilidad la división principal se ha hecho con respecto al tipo de construcción. Sin embargo, al considerar de forma general el tema de la sismorresistencia de los edificios, también se puede tener en cuenta una división en términos de aspectos de diseño.

En el nivel más bajo se encuentran los edificios sin DSR. Tales edificios incluyen construcciones con y sin técnicas de ingeniería. Los edificios de este tipo construidos con técnicas de ingeniería son típicos de las regiones de baja sismicidad donde las regulaciones para el diseño sísmico no existen o existen sólo en forma de recomendaciones. En las escalas de intensidad previas solamente se consideraban edificios de este tipo.

En el segundo nivel están los edificios con DSR, esto es, edificios diseñados y construidos de acuerdo a las especificaciones de los códigos. En su construcción se ha seguido alguna filosofía de diseño, incluyendo procesos de determinación del peligro sísmico y la construcción de mapas de zonificación con parámetros que describan la actividad sísmica esperada para las distintas zonas. Se pueden encontrar edificios de este tipo en regiones sísmicas donde el diseño de los edificios debe tener en cuenta las regulaciones sismorresistentes. Tales edificios pueden incluir construcciones de mampostería, así como edificios de acero y HA. Este tipo de edificios han sido considerados por primera vez en esta escala.

En el nivel más alto se encuentran edificios con medidas antisísmicas especiales, tales como el aislamiento de la base. Estos edificios se comportan de manera especial bajo cargas sísmicas, sin sufrir daños a menos que el proceso de aislamiento de la base falle de alguna forma. Este tipo de edificios no se pueden usar para la asignación de intensidades en ningún caso.

Las estructuras de ingeniería con sistemas estructurales modernos, no diseñadas contra cargas laterales sísmicas, también pueden proveer un nivel de sismorresistencia comparable al nivel incorporado en los edificios construidos con técnicas de ingeniería sismorresistente. También se puede considerar que las estructuras diseñadas para resistir fuertes cargas causadas por vientos son también estructuras que tienen cierta sismorresistencia inherente. Las estructuras bien construidas de madera y mampostería (sin normas de ingeniería) pueden comportarse en una forma comparable a la de los edificios con normas sismorresistentes típicas de la clase de vulnerabilidad D y excepcionalmente E. Esto también se puede aplicar a edificios en los cuales se hayan incorporado medidas especiales de reforzamiento (rehabilitación). En tales casos, incluso las construcciones de rocas de cantera con buenas medidas de reforzamiento pueden comportarse muy por encima de su clase de vulnerabilidad normal.

Se debe apreciar que, para simplificar, las estructuras de hormigón armado sin DSR y aquellas con un bajo nivel de sismorresistencia se resumen bajo un solo tipo de edificios, debido a que se comportan generalmente de la misma manera. La clase de vulnerabilidad típica (más probable) de tales edificios es la C. Esto no implica que haya que desestimar la utilidad de un nivel bajo de DSR, que ha demostrado ser muy útil para mejorar casos muy deficientes. Las estructuras de

HA con un nivel bajo de DSR descienden a la clase B solamente en casos excepcionales, mientras que las estructuras sin DSR pueden ser fácilmente equiparadas a la clase B y en casos excepcionales a la clase A.

En el pasado se ha omitido con frecuencia la importancia de los elementos horizontales al determinar el rendimiento de los edificios bajo cargas sísmicas, al menos en el caso de las estructuras de mampostería. La resistencia de los pisos de un edificio u otros de los elementos horizontales rígidos juega con frecuencia un papel crucial en la elección de la vulnerabilidad de una estructura. Hay que tener presente que puede ser difícil o imposible determinar desde fuera del edificio qué tipo de pisos o elementos horizontales están presentes; es muy importante poder examinar también el interior de edificio, si es posible, para determinar la vulnerabilidad correctamente.

2.2.2 Estructuras de mampostería

2.2.2.1 Paredes de peña viva / roca de cantera

Estas son construcciones tradicionales en las cuales se utilizan rocas desnudas como material básico de construcción, normalmente con un mortero de mala calidad, creando edificios pesados y con poca resistencia a las cargas laterales. Los pisos son típicamente de madera y no proporcionan rigidez horizontal.

2.2.2.2 Adobe / ladrillo de tierra

Este tipo de construcción se puede encontrar en muchos sitios donde existen los barroes adecuados. Los métodos de construcción con adobe varían ampliamente y esto introduce algunas variaciones en la resistencia contra las vibraciones sísmicas de las viviendas de adobe. Los muros contruidos de capas de adobe sin el uso de ladrillos son rígidos y débiles; las viviendas de ladrillos pueden comportarse mejor dependiendo de la calidad del mortero, y, en menor grado, de la calidad del ladrillo. El peso del techo es uno de los factores más importantes en el rendimiento de este tipo de viviendas, siendo los techos pesados más peligrosos. Las viviendas de adobe con armazones de madera poseen una resistencia mayor y tienen un mejor rendimiento. Tales edificios pueden sufrir daños en los muros fácilmente, mientras que el armazón de madera permanece intacto debido a su mayor ductilidad. También se pueden encontrar viviendas de adobe en las que se utilizan vigas y columnas de madera no unidas; éstas proporcionan una rigidez horizontal adicional y por lo tanto mejoran el rendimiento, pero no lo hacen tanto como en el caso de un armazón conectado.

El tipo de vivienda que se encuentra en algunas regiones de Europa, conocido como “wattle and daub”, donde un armazón de madera se rellena con listones de madera cubiertos con barro es similar a la construcción de adobe (en América Latina esta técnica se conoce como “bajareque”).

2.2.2.3 Roca simple

La construcción de roca simple difiere de la construcción de roca de cantera en que la roca simple ha sido labrada antes de ser usada. Estas rocas labradas se colocan en la construcción del edificio según ciertas técnicas para mejorar la resistencia de la estructura, por ejemplo usando rocas grandes para enlazar los muros en las esquinas. En el caso normal, la vulnerabilidad tales edificios se consideran como de clase B y solamente de clase A cuando están en malas condiciones o cuando están ensamblados con una fabricación de mala calidad.

2.2.2.4 Roca masiva

Los edificios con rocas muy grandes se limitan normalmente a construcciones monumentales, castillos, grandes edificios civiles, etc. Los edificios especiales de este tipo, tales como las catedrales y los castillos, no se usarían normalmente para la determinación de intensidad por las razones especificadas en la Sección 3.5. Sin embargo, algunas ciudades poseen áreas de edificios de siglo XIX de este tipo que pueden ser usados para la determinación de intensidad. Estos edificios normalmente poseen gran resistencia, lo que contribuye a su buena clase de vulnerabilidad (C o incluso D en casos de una construcción excepcionalmente buena).

2.2.2.5 Ladrillo no reforzado / bloques de hormigón

Este tipo de construcción, muy común, es el arquetipo “B” en la escala original MSK y sirve como base para comparación con otros edificios. El Eurocódigo 8 se refiere a tal tipo de construcción bajo la clasificación “unidades de roca manufacturada”. Son edificios tan comunes que con frecuencia se encuentran especímenes en tan malas condiciones que solamente se pueden catalogar como clase A. Es menos común encontrar ejemplos tan bien contruidos que puedan contarse como clase C, aunque este puede ser el caso de grandes viviendas construidas con altos estándares para gente acomodada, o contruidos en sitios donde se requiere de resistencia lateral para resistir los efectos del viento. Es característico de este tipo de edificios el que no se hayan hecho intentos para mejorar los elementos horizontales de la estructura, siendo los pisos generalmente de madera y por lo tanto flexibles.

En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, el tamaño y la posición de aperturas. Aperturas grandes, pequeños entrepaños entre las aperturas y esquinas, así como largos muros sin elementos de rigidez perpendiculares contribuyen a una estructura más vulnerable. Un problema que debe tenerse en cuenta es el uso de sistemas de muros huecos con revestimientos internos y externos, los cuales si no se conectan apropiadamente pueden crear muros muy débiles sin suficiente sismorresistencia, de tal forma que responden de una forma muy pobre.

2.2.2.6 Ladrillo no reforzado con pisos de HA

Aunque los muros de los edificios son las partes más evidentes para el observador, los elementos horizontales pueden ser de hecho más importantes para determinar la resistencia de la estructura con respecto a las cargas laterales. Por ello, el tipo de construcción donde los muros son de ladrillo no reforzado pero que tienen pisos de hormigón armado se comportará significativamente mejor que las viviendas normales de ladrillo. Donde los muros se unen entre sí mediante una solera rígida con vigas perimetrales, creando así una estructura de cajón que reduce de manera efectiva el riesgo de un colapso de los muros fuera del plano, así como la separación y distanciamiento de muros perpendiculares que se intersecten. Esta mejora del rendimiento sólo se materializa si el piso de HA está conectado adecuadamente a la estructura, lo que no siempre es el caso. En los casos en los cuales la estructura está bien conectada, la vulnerabilidad será probablemente de clase C; en otro caso de clase B.

2.2.2.7 Ladrillo reforzado y mampostería confinada

Dentro de esta clasificación se encuentran varios sistemas en los cuales se ha realizado un esfuerzo significativo por mejorar el rendimiento y la ductilidad de la construcción de mampostería. En la mampostería reforzada, se insertan barras o mallas de acero, en el mortero o “grout” (un hormigón bastante líquido con agregados finos. El término se usa ya comúnmente en la comunidad de ingenieros civiles), en huecos o entre capas de ladrillos de mampostería, creando un material compuesto que actúa como un muro o un sistema de muros altamente resistente y dúctil. Dicho refuerzo aparece en direcciones horizontales y verticales. La mampostería confinada se caracteriza como mampostería construida rígidamente entre columnas estructurales y vigas en los cuatro lados y provee un nivel de resistencia similar. En tales estructuras no se pretende que los elementos de conexión respondan como un armazón resistente a momentos, donde la mampostería actúa como un relleno no estructural en la mayoría de los casos. En ciertas regiones se desarrollan sistemas especiales de roca en los que se moldean rocas de construcción usando hormigón (por ejemplo haciendo entrelazados); tales sistemas también proporcionan una buena respuesta. Otro sistema eficiente se conoce como fábrica armada, que consiste en capas internas y externas de ladrillo, conectadas mediante un núcleo de hormigón reforzado horizontal y verticalmente. En este caso pueden aparecer problemas si la unión es débil y/o si las capas no están conectadas adecuadamente. El rendimiento general de tales sistemas debería ser equivalente al de la mampostería reforzada, aunque la experiencia con relación a esta forma de construcción es de momento limitada.

2.2.3 Estructuras de hormigón armado

Este tipo de construcción, tan común en las ciudades modernas, varía extremadamente en apariencia, diseño y resistencia, lo que hace difícil presentar una guía simple para tratar tales estructuras. Se ha llevado a cabo una división en la Tabla de Vulnerabilidad en base al nivel de diseño sismorresistente. En la sección 2.3.7 se discute como se debe aplicar dicha división.

2.2.3.1 Estructuras de armazón de hormigón armado

El sistema estructural de edificios con armazón de hormigón armado consiste en un sistema de vigas y columnas que forman un armazón y que están acopladas mediante uniones monolíticas de vigas y columnas resistentes a momentos y esfuerzos de cizalla. Las estructuras de armazones de HA resisten tanto cargas verticales como laterales. El comportamiento de los armazones de HA lo determina la proporción entre la altura de las columnas y la longitud de las vigas, así como la resistencia (secciones transversales) de las vigas y columnas. Unas columnas débiles y unas vigas fuertes indican un sistema vulnerable a cargas laterales. Las estructuras con armazón de HA son muy comunes y están muy extendidas, y deben ser consideradas como el tipo de edificio con la mayor variabilidad de sismorresistencia. En algunos casos la vulnerabilidad es comparable a la de edificios simples de adobe o de rocas simples, lo que conlleva una asignación de intensidad (alta) equivocada si se toma la clase más común de la Tabla de Vulnerabilidad como clase de vulnerabilidad y se desprecia el rango probable y los casos excepcionales. El colapso de edificios con armazón de HA provoca con frecuencia daños espectaculares. Los daños observados en terremotos pasados proporcionan experiencia sobre defectos típicos de diseño y las razones detrás de los patrones de daños observados repetidamente. Se deben evitar las diferencias en la resistencia del sistema estructural con respecto a las direcciones longitudinal y transversal. Como indicación de la debilidad en una dirección (probablemente la longitudinal) el usuario debería considerar la proporción entre el ancho y el alto de las secciones transversales de las columnas, así como los enlaces entre los armazones (transversales).

En la mayoría de los casos prácticos los sistemas estructurales se pueden clasificar como de armazón de HA con rellenos de mampostería. La posible interacción entre el armazón de HA y los rellenos frágiles puede contribuir a un sistema más vulnerable. Debido a esta interacción, las columnas y enlaces tienen que reaccionar a cargas adicionales para las cuales no están diseñadas. Si el relleno tiene aperturas o tiene otras discontinuidades, es de esperar un efecto de “columna corta” que resulta en fallos de corte en las columnas (grietas diagonales e inclinación del reforzamiento de la columna). De nuevo esto es indicativo de un tipo de edificio vulnerable y aun en algunos casos donde se debería asumir un cierto nivel de DSR consistente con los códigos esto es una indicación de que el DSR final (real) tiende a estar por debajo del que sería el más probable.

Para armazones de HA (pero también para armazones de acero y de madera) el diseño sismorresistente está ligado a un patrón de daños particular. Se deben proporcionar zonas de daños en las uniones de las vigas finales. No se deben permitir daños en las columnas o en las uniones entre vigas y columnas. A pesar de ello, el daño se sigue concentrando por lo general en las columnas. Si el revestimiento de hormigón se despega, se debe comprobar el espaciamiento de los estribos del refuerzo, el cual debería ser limitado en todas las zonas críticas. Tales detalles del refuerzo proporcionan una impresión de las características inherentes del diseño y del nivel final (real) de DSR.

La vulnerabilidad sísmica de los armazones de HA se ve afectada por todos los factores mencionados previamente, tales como la regularidad, la calidad y la fabricación o la ductilidad. Los

armazones de HA son particularmente vulnerables a las interrupciones de rigidez lateral en toda la altura del edificio. Un primer piso débil puede provocar el colapso de todo el edificio. Tales tipos de edificios son muy vulnerables a cargas laterales. Si los edificios tienen irregularidades en la planta, el daño se concentrará en lugares alejados del centro de rigidez. Es decir, si algunas columnas exteriores se dañan, esto se debe interpretar como la indicación de efectos torsionales y un armazón vulnerable. Todos estos efectos y patrones de daños descritos no deben ser descartados cuando se asigne la clase de vulnerabilidad más apropiada.

2.2.3.2 Estructuras de muros de hormigón armado

Las estructuras de muros de hormigón armado se caracterizan por elementos generalmente verticales que soportan otros elementos y que tienen secciones transversales alargadas con una relación entre longitud y grosor mayor de 4 a 1 y/o un confinamiento en secciones parcial. Si dos o más muros están conectados en un patrón regular mediante vigas de acoplamiento, el sistema estructural se conoce como estructura de muros acoplados, en la cual las vigas deberían proveer suficiente ductilidad y tienen la finalidad de ser los elementos donde se produce la disipación de energía, de acuerdo a principios recientes de DSR. La vulnerabilidad se ve afectada por grandes aperturas o discontinuidades en los muros y su forma geométrica en toda la altura del edificio, así como por las interrupciones en el nivel del suelo (que crean una planta débil).

Las estructuras de muros de HA se caracterizan por una rigidez mayor que las estructuras de armazón de HA. Si los muros no están colocados en forma regular y en todos los lados exteriores de un edificio, los efectos torsionales pueden contribuir a un fallo parcial del sistema. Las irregularidades en la planta o los defectos internos deben ser considerados como defectos serios aun en el caso de un aspecto exterior uniforme, y pueden contribuir a casos excepcionales de vulnerabilidad.

Al contrario que los armazones de HA, los muros de HA tienden a comportarse en un rango reducido de clases de vulnerabilidad. De acuerdo con la Tabla de Vulnerabilidad, los casos excepcionales están restringidos a la clase de vulnerabilidad B (sin DSR) y a la clase de vulnerabilidad C para muros con DSR. Existen varios sistemas estructurales que se componen de armazones espaciales y muros estructurales (los llamados sistemas duales) o que se componen de un sistema de armazones flexibles combinados con muros concentrados cerca del centro o colocados simétricamente en una dirección del edificio (los llamados sistemas de núcleo). Se considera que los sistemas de núcleo se comportan de una manera menos dúctil que los sistemas de armazón, muro o duales.

2.2.4 Estructuras de acero

Bajo esta categoría se clasifican los edificios en los cuales el sistema estructural principal lo proporciona un armazón de acero. Hasta ahora se cuenta con muy pocos datos de evaluaciones

macrosísmicas para estructuras de armazones de acero, pero estos datos indican un alto nivel de sismorresistencia. El daño estructural puede, sin embargo, estar enmascarado por elementos no estructurales tales como el guarnecido, paredes de tabique, o añadidos de hormigón (incluidos para aumentar la resistencia a los incendios) en sistemas compuestos. En tales casos, el daño a las uniones es visible solamente después de que se haya retirado el revestimiento de hormigón.

La elección del nivel de sismorresistencia, y por lo tanto de la clase de vulnerabilidad más apropiada, debería tener en consideración tanto el sistema de rigidez como el tipo de uniones. La ductilidad del sistema completo estará determinada por el sistema de resistencia lateral (es decir, el tipo de armazón y el tipo de arriostramiento). Para edificios con armazón de acero sin medidas especiales antisísmicas o DSR, la clase de vulnerabilidad más probable es la D. Los arriostramientos que afectan a las columnas (arriostramiento tipo K) proporcionan una menor sismoresistencia y deberían ser representados mediante clase de vulnerabilidad C. En la mayoría de los casos los armazones resistentes a momentos, los armazones con muros de corte de HA o los armazones con arriostramientos de tipo excéntrico, X ó V, proporcionan resistencia lateral y aseguran un comportamiento dúctil. Se puede entonces considerar la clase de vulnerabilidad E como la clase más probable. En el caso de un nivel mejorado de DSR se puede considerar como posible la clase F. Las clases de vulnerabilidad probables para estructuras de armazones resistentes a los momentos dependen del nivel de DSR como se discute en la sección 2.3.7.

2.2.5 Estructuras de madera

A los edificios de madera se les ha tratado brevemente porque no se encuentran con frecuencia en las regiones de mayor actividad sísmica de Europa. La flexibilidad innata de la construcción de madera les brinda mayor resistencia a los daños, aunque esto puede variar considerablemente en función de las condiciones en las que se encuentren las estructuras. La madera podrida o las uniones flojas pueden hacer una vivienda de madera bastante vulnerable al colapso; en el caso del terremoto de Kobe en 1995, fue notable que las viviendas de madera tradicionales en ciertas partes de la ciudad respondieron muy mal debido a su mala condición. Este fue un muy buen ejemplo de cómo la vulnerabilidad depende de algo más que el tipo de construcción.

El sistema estructural que proporciona la resistencia lateral debe ser considerado cuidadosamente. Si la vigas y las columnas están conectadas mediante placas clavadas (de yeso u otros materiales quebradizos) o si estas conexiones son débiles, la estructura se colapsará si las conexiones fallan. Este tipo de estructuras de madera se representa típicamente por la clase de vulnerabilidad C y debería distinguirse de las estructuras de armazones de madera resistentes a cargas laterales causadas por la vibración sísmica. La ductilidad de las estructuras de madera depende de la ductilidad de las conexiones.

En el futuro deberían efectuarse algunas mejoras con relación a como se consideran las estructuras de madera en la escala. Se debería incluir la creación de subdivisiones de estructuras de madera en grupos distintos, así como la descripción con detalles de las etapas de daños a los

edificios de madera, que no están descritos en las definiciones de grados de daño en la escala de la misma manera en la que lo están para las estructuras de mampostería y HA.

2.3 Factores que afectan a la vulnerabilidad sísmica de los edificios

Existen varios factores que afectan a la vulnerabilidad general de una estructura además del tipo de construcción. Estos factores afectan generalmente a todo tipo de estructuras, independientemente de si están construidas con o sin técnicas de ingeniería, con o sin DSR.

2.3.1 Calidad y fabricación

Es obvio que un edificio que esté bien construido es más fuerte que uno mal construido, pero previamente esto no se ha tenido en consideración en las escalas de intensidad, sin duda en parte por la dificultad de definir lo que constituye “buena” y “mala” construcción. Sin embargo, incluso una discriminación subjetiva de estas condiciones es mejor que descartarlas por completo. El uso de materiales de buena calidad y buenas técnicas de construcción resultará en un edificio más capaz de resistir la vibración que si se usan materiales de baja calidad, o si se da una fabricación deficiente. En el caso de los materiales, la calidad del mortero es de particular importancia, hasta el punto de que incluso se puede construir un edificio fuerte con mampostería con paredes de rocas si el mortero es de alta calidad. La fabricación de mala calidad puede estar motivada por negligencia o recortes de presupuestos, por ejemplo en el caso de no conseguir conectar adecuadamente las partes de la estructura. En los casos de estructuras construidas con técnicas de ingeniería, una construcción deficientemente puede provocar que la estructura final no satisfaga los requisitos del código sísmico apropiado.

2.3.2 Estado de preservación

Un edificio mantenido de forma adecuada funcionará de acuerdo a la resistencia que se espere de él. Un edificio al que se le haya permitido deteriorarse puede ser significativamente más débil, lo suficiente incluso como para incrementar su vulnerabilidad en al menos una clase. Esto se puede observar en los casos de edificios abandonados o en ruinas, así como en los casos en los cuales ha existido una falta evidente de mantenimiento. Un caso particular es el de edificios previamente dañados (por lo general por un terremoto previo, cuando se han manifestado series de réplicas). Tales edificios pueden responder de una manera muy pobre, de forma que una réplica considerablemente débil puede causar daños desproporcionados (incluyendo colapso) entre edificios dañados por el sismo principal.

Se debe notar que un edificio puede aparentar estar en buenas condiciones porque se ha atendido al mantenimiento de la apariencia estética del edificio. Sin embargo, es obvio que un

guarnecido reciente y unas capas de pintura vistosa no conllevan necesariamente buen estado del sistema estructural del edificio.

2.3.3 Regularidad

Desde el punto de vista de la sismorresistencia, el edificio ideal sería un cubo en el cual todas las variaciones en la rigidez (como las cajas de las escaleras) están dispuestas en forma simétrica. Como tales edificios no funcionarían adecuadamente y serían rechazados estéticamente, hay que esperar variaciones más o menos significativas en la mayoría de edificios con respecto a esta estructura ideal. Cuanto mayor sea la discrepancia en simetría y regularidad, mayor será la vulnerabilidad del edificio con relación a la vibración sísmica, y con frecuencia es posible observar en edificios dañados cómo las irregularidades ha contribuido claramente al daño (por ejemplo por el colapso de pisos débiles).

Con respecto al actual desarrollo en los códigos (Eurocódigo 8), los edificios construidos con técnicas de ingeniería han de ser clasificados de acuerdo con su regularidad estructural en base a parámetros globales (dimensiones, proporciones geométricas) y las desviaciones globales y locales con respecto a un plano regular y una forma vertical. Estas consideraciones se aplican de igual manera a estructuras construidas sin técnicas de ingeniería. La regularidad se debe considerar en un sentido global, es decir, la regularidad es más que la simetría externa en plano y elevación. En el sentido de esta escala, la regularidad incluye tanto las características naturales del edificio como, en el caso de las estructuras construidas con técnicas de ingeniería, las medidas tomadas en el interior para asegurar un comportamiento simple y hasta cierto punto controlado en caso de terremoto. Es de esperarse que las estructuras construidas con técnicas de ingeniería incorporen medidas en correspondencia con las reglas del diseño sismorresistente para garantizar la regularidad.

Ciertas irregularidades evidentes se pueden identificar fácilmente; por ejemplo, los edificios diseñados con un plano en forma de L son comunes y están sujetos a efectos torsionales que pueden aumentar dramáticamente los daños sufridos. Por otro lado, no sería inteligente asumir que un edificio acata las normas de regularidad solamente por el hecho de que posee una simetría en sus dimensiones exteriores. Incluso si la planta es regular, pueden surgir problemas en edificios que poseen una marcada asimetría en la disposición interna de componentes de rigidez variable. Un aspecto notable en este caso es la posición de cavidades para ascensores y escaleras.

Con frecuencia se encuentran casos de edificios en los cuales un piso (normalmente el más bajo) es significativamente más débil que los otros; a menudo es muy abierto, con columnas sin muros que soportan los pisos superiores. Tales casos se conocen como pisos débiles y son muy susceptibles de colapsar. Unos ventanales a lo largo de un edificio pueden introducir efectos similares.

En algunos casos las modificaciones subsecuentes pueden afectar negativamente a edificios que tenían un buen nivel de regularidad. Por ejemplo, la transformación del primer piso de un

edificio en un garaje o local comercial puede debilitarlo (creando un piso débil); igualmente, la construcción de una extensión de un edificio puede introducir irregularidades en la planta e irregularidades de rigidez y periodo sobre toda la estructura. Los edificios antiguos de mampostería pueden haber sido modificados considerablemente a lo largo de varios años, resultando en pisos a distintos niveles cuya planta no concuerda, cimientos en distintos niveles de una pendiente y casos similares.

2.3.4 Ductilidad

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 de forma controlada, dispersa o concentrada localmente según el tipo de construcción y de sistema estructural. La ductilidad puede ser función directa del tipo de construcción; las viviendas de acero bien construidas tienen una alta ductilidad y por lo tanto resisten la vibración de forma adecuada, en comparación con edificios más quebradizos y menos dúctiles tales como las viviendas de ladrillo. En los edificios diseñados contra terremotos, los parámetros que determinan las características dinámicas del edificio (rigidez y distribución de masas) se controlan y la calidad de la transformación y disipación de la energía se asegura en los acoplamientos entre el piso, los cimientos y los elementos estructurales, así como eludiendo las concentraciones críticas de daños locales (fracturas).

2.3.5 Localización

La localización de un edificio con respecto a otros edificios vecinos puede afectar su comportamiento durante un terremoto. En el caso de una fila de viviendas en una manzana urbana, por lo general son las viviendas situadas en los extremos de la fila o las situadas en las esquinas las que se ven más afectadas. Un extremo de la vivienda está anclado a la vivienda vecina, mientras que el otro lado no lo está, generando una irregularidad en la rigidez general de la estructura que provoca un daño mayor.

Cuando dos edificios altos con períodos naturales distintos están situados muy cerca el uno del otro se pueden producir daños de importancia. Durante el terremoto, ambos edificios pueden oscilar a frecuencias distintas y chocar el uno contra el otro, causando un efecto conocido como “golpeteo”. Tal daño no representa una medida de la fuerza de la vibración del terremoto y debe ser descartado al asignar la intensidad.

2.3.6 Refuerzo

Cuando se han tomado medidas para reforzar los edificios con el fin de mejorarlos contra los terremotos, el efecto es el de crear lo que son prácticamente nuevos tipos de edificios compuestos. Estos pueden diferir radicalmente en su rendimiento con respecto al edificio

original sin modificaciones. Por ejemplo, tomar construcciones antiguas de rocas de cantera y mejorar los elementos horizontales reemplazando los pisos o insertando enlaces puede mejorar el rendimiento hasta una clase B. Si además de esto, se inyecta mortero o epoxi o se encamisa con HA, el rendimiento puede mejorar hasta el punto de incluir el edificio en las clases asignadas a edificios con DSR.

2.3.7 Diseño sismoresistente (DSR)

Para el propósito de una escala macrosísmica, sería imposible ofrecer una clasificación completa de los edificios construidos con técnicas de ingeniería que reflejara las diferencias y refinamientos dentro de los códigos sísmicos nacionales. Las correlaciones entre los niveles de sismorresistencia de acuerdo a los códigos sísmicos en países europeos o de otras nacionalidades y las clases típicas de vulnerabilidad deben ser desarrolladas y requieren de una discusión entre los especialistas nacionales. Las funciones de vulnerabilidad para los distintos tipos de estructuras construidas con técnicas de ingeniería se deben evaluar principalmente en función del nivel deseado del diseño sismorresistente. Estos niveles pueden variar de un país a otro. Las clases de vulnerabilidad tampoco son uniformes con respecto al nivel y a las metas de las regulaciones nacionales en torno a terremotos y pueden cambiar con el tiempo en cualquier país o región. La clase real de vulnerabilidad será asignada con respecto al diseño final (real) de DSR, el cual puede diferir (aunque en la mayoría de los casos no debería hacerlo) del nivel consistente con el código debido a otros factores.

2.3.7.1 DSR consistente con el código

Asumiendo que todos los edificios en una zona sísmica i están diseñados y construidos para un sismo de diseño de cierta intensidad (o movimiento máximo del terreno), ajustado al sitio y las condiciones de subsuelo de la zona i , los edificios construidos con técnicas de ingeniería se clasifican de acuerdo al nivel de diseño sismorresistente (DSR) incorporado. Dicho diseño sismorresistente está gobernado por los códigos sísmicos nacionales.

El nivel de diseño sismorresistente se puede obtener a partir de parámetros de diseño (intensidad, movimiento máximo del terreno, esfuerzo de cizalla en la base) relacionados directamente con la zona sísmica i . Por lo tanto, es posible predecir el nivel de DSR consistente con el código, y con ello evaluar el (los) tipo(s) de edificio(s) con DSR- i en el área de estudio en función de la zona sísmica definida en el código de construcción sísmica nacional. Se puede asumir que para los edificios se puede especificar el tipo de DSR- i , donde i es una expresión tanto de la intensidad del terremoto de diseño como del nivel de sismorresistencia.

Normalmente, cada región está caracterizada por un solo tipo de DSR- i ; sin embargo para la asignación de la intensidad es necesario disponer de información que indique la distribución o las localizaciones individuales de esos edificios. Una región o un poblado pueden caracterizarse

por diferentes tipos de DSR-i cuando existen edificios que han sido construidos de acuerdo a códigos sísmicos distintos.

Se pueden clasificar tres tipos de DSR-i de la siguiente manera:

Tipo DSR-L: edificios con técnicas de ingeniería que incorporan un nivel bajo o mínimo de diseño sismorresistente.

Este nivel se caracteriza por la limitación de parámetros estructurales (y en algunos casos un método de cálculo simplificado). Dependiendo de la importancia del edificio se puede permitir la omisión de cargas sísmicas adicionales. Las medidas especiales de armado para mejorar la ductilidad no son típicas de este tipo de edificios. Este tipo de construcción es muy común en áreas de baja o moderada sismicidad. (Por lo general los edificios de este tipo se diseñan para una intensidad 7 o un esfuerzo de cizalla en la base de 2-4% g). Los edificios construidos con técnicas de ingeniería que incorporan un nivel equivalente de diseño sismorresistente (por su regularidad y calidad de fabricación) son comparables a este tipo de DSR. Por lo tanto, se considera que las estructuras de HA sin DSR y aquellas estructuras de HA de tipo DSR-L pertenecen a un mismo grupo de edificios en la Tabla de Vulnerabilidad.

Tipo DSR-M: edificios con técnicas de ingeniería que incorporan un nivel moderado (mejorado) de diseño sismorresistente.

Este nivel está caracterizado por la implementación de reglas de diseño. Se implementan parcialmente medidas de armado (para mejorar la ductilidad). Este tipo de construcción se espera en áreas de sismicidad moderada a alta. (Por lo general, los edificios de este tipo se diseñan comúnmente para una intensidad 8 o un esfuerzo de cizalla en la base del orden de 5-7% g).

Tipo DSR-H: edificios con técnicas de ingeniería que incorporan un nivel alto (cualificado) de diseño sismorresistente.

Aquí, las cargas sísmicas se calculan por métodos dinámicos. Se incorporan medidas especiales de armado para asegurar un sistema dúctil donde la energía sísmica se distribuya sobre toda la estructura y se disipe principalmente en bisagras plásticas sin falla estructural. Es de esperarse este tipo de construcciones en áreas de alta sismicidad. (Generalmente los edificios de este tipo están diseñados para una intensidad 9 o un esfuerzo de cizalla en la base de 8-12% g). Este nivel no se alcanza o no se requiere generalmente en los países europeos y se debería caracterizar por una ductilidad mejorada de los sistemas estructurales y de mecanismos de plastificación controlados como resultado de las medidas antisísmicas especiales (carga de diseño o de cálculo).

Se espera que el nivel de diseño sismorresistente sea relativamente uniforme dentro de cualquier región sísmica para la cual se tenga que asignar una intensidad. El nivel puede no ser

uniforme cuando se hayan diseñado los edificios usando códigos distintos dentro de una misma zona sísmica, por ejemplo donde un código antiguo se haya actualizado o reemplazado totalmente por uno nuevo.

2.3.7.2 Importancia

Con respecto al desarrollo de los códigos, hay que considerar la importancia de los edificios construidos con técnicas de ingeniería porque ésta puede contribuir a distintos niveles de diseño sismorresistente (DSR) para el mismo tipo de edificio. La importancia de un edificio se determina en función del número de ocupantes o visitantes, el uso del edificio (o las consecuencias de la interrupción en su uso) o el peligro para el público y el medio ambiente en caso de que falle dicho edificio.

La clasificación en importancia no está armonizada sino que es muy diferente en las distintas regulaciones sísmicas europeas, y está conectada con la definición de factores de amplificación de la carga sísmica (factores de importancia). En casos especiales, los edificios de alta importancia se diseñan para cargas que son típicas de zonas o clases de intensidad más altas. Los edificios de mucha importancia o alto potencial de riesgo deben ser considerados cuidadosamente con respecto al nivel final de cargas de diseño. En general, se debe asumir un nivel más alto de DSR para este tipo de edificios.

2.3.7.3 Nivel final (real) de DSR y clase de vulnerabilidad

Después de que se haya determinado el nivel consistente con el código, es necesario encontrar el nivel apropiado (o real) de DSR y determinar la clase de vulnerabilidad. Esto implica la consideración del nivel de regularidad así como de la calidad de la fabricación de los distintos tipos de edificios o sistemas estructurales y la implementación de principios de diseño moderno en el área de estudio. Además, es necesario comparar los niveles de diseño de estructuras construidas con técnicas de ingeniería en la región sísmica con las características idealizadas de los tipos de DSR-*i*, expresadas en términos de intensidad de diseño u otros coeficientes de diseño específicos de la zona. Es de esperarse que en la gran mayoría de los casos el nivel real de DSR sea el mismo que el nivel consistente con el código; las excepciones serán estructuras especiales (donde el nivel puede ser mayor) y los casos en los que el código no ha sido implementado adecuadamente (donde el nivel puede ser menor).

El rango de clases de vulnerabilidad probables en la Tabla de Vulnerabilidad es un indicador aproximado del nivel de DSR proporcionado. Las clases de vulnerabilidad más altas que C o D se restringen en la práctica a estructuras con técnicas de ingeniería con un cierto nivel de diseño sismorresistente (o algunas estructuras de madera).

Sobre esta base se puede expresar el nivel real de DSR dentro del rango esperado de condiciones de escala de la siguiente manera:

- para edificios con armazón de HA del tipo DSR-L, son probables las clases de vulnerabilidad C y D, siendo la clase C la más probable;
- para edificios con armazón de HA del tipo DSR-M, son probables las clases de vulnerabilidad D y E, siendo la clase D la más probable;
- para edificios con armazón de HA del tipo DSR-H, son probables las clases de vulnerabilidad E y F, siendo la clase E la más probable;
- para estructuras de muros de HA del tipo DSR-L, y de armazón de acero (resistente a momentos) es probable la clase de vulnerabilidad D;
- para estructuras de muros de HA y armazón de acero (resistente a momentos) del tipo DSR-M, son probables las clases de vulnerabilidad D y E, donde D es la más probable para estructuras de muros con HA y E la más probable para armazón de acero (resistente a momentos);
- para estructuras de muros de HA y armazón de acero (resistente a momentos) del tipo DSR-H son probables las clases de vulnerabilidad E a F, siendo la clase E la más probable para estructuras de muros con HA y F la más probable para armazón de acero (resistente a momentos).

Para edificios con armazón de HA sin diseño sismorresistente son probables las clases de vulnerabilidad B y C, siendo C la más probable. Para edificios con armazón de HA con defectos serios (tales como pisos débiles, columnas débiles, ausencia de elementos de rigidez como relleno de ladrillo [Brick-infill] o muros de corte) la clase de vulnerabilidad más apropiada puede ser la B o incluso la A. Para edificios regulares con armazón de HA sin DSR pero que incorporan un cierto nivel de resistencia lateral (debido a un diseño para la resistencia al viento o verificaciones de estabilidad) la clase de vulnerabilidad D puede ser representativa de casos excepcionales.

Para estructuras de muros con HA sin DSR son probables las clases de vulnerabilidad C y D, siendo C la más probable. Para muros de HA con serios defectos se puede considerar la clase de vulnerabilidad B como el caso excepcional. Hay que notar que los defectos no conllevan a una reducción tan drástica en la vulnerabilidad como la que puede observarse en el caso de estructuras con armazón de HA.

2.4 *Asignado la clase de vulnerabilidad*

Cuando se asigna la clase de vulnerabilidad de una estructura o de un grupo de estructuras, el examen del tipo de construcción permite encontrar la fila correcta en la Tabla de Vulnerabilidad. La decisión de qué clase debe ser asignada depende de asociar los rasgos descritos arriba a los símbolos mostrados en el rango de clases posibles en la Tabla de Vulnerabilidad.

El círculo muestra la clase más probable. Si no existen fortalezas o debilidades especiales y patentes en un edificio, esta es la clase que se le debe asignar. Una línea continua muestra el rango probable hacia arriba o hacia abajo. Algunas fortalezas o debilidades permiten que se clasifique al edificio dentro de este rango. Una línea punteada muestra el rango en casos extremos. Se puede clasificar el edificio dentro de este rango si tiene muchas fortalezas o debilidades, fortalezas que son particularmente notables, o debilidades que son muy severas.

Algunos ejemplos pueden ilustrar este proceso.

(i) Un edificio es de ladrillo no reforzado con pisos de HA, con una planta baja débil (piso débil) y construcción y regularidad medios. La clase normal sería la C, pero el edificio no posee ventajas para compensar las debilidades importantes del piso débil y puede ser clasificado como clase B, lo cual está dentro del rango probable de vulnerabilidades para este tipo de edificio.

(ii) Un edificio de diseño similar es solamente de ladrillo no reforzado. Este tipo de edificio es normalmente de clase B. La debilidad del piso débil no es suficiente para disminuirlo a la clase A, dado que esto está en la parte extrema del rango. Si el edificio también estaba en malas condiciones debido a que ha estado deshabitado y sin mantenimiento durante varios años, y es internamente muy irregular además de tener la mencionada planta baja débil, esta combinación de desventajas sería suficiente para catalogarlo como clase A.

Con frecuencia puede ser que los edificios más débiles de un grupo sean aquellos que se dañan en primer lugar en un terremoto. Sin embargo, esto no es razón para degradar todos los edificios una clase de vulnerabilidad automáticamente. En casos en los que sólo se tiene información sobre el tipo de edificio (como por ejemplo en la mayoría de los registros históricos, donde algunas veces se carece incluso de esa información) normalmente se debería asignar la clase de vulnerabilidad más probable y solamente emplear una clase diferente como una forma de resolver lo que de otra forma sería una situación anómala.

2.5 Comentarios sobre la introducción de nuevos tipos de edificios

Al usar la escala fuera de Europa, o en áreas dentro de Europa donde se encuentra algún tipo de edificio local característico, puede ser necesario manejar tipos de edificios no cubiertos por la Tabla de Vulnerabilidad tal y como está redactada actualmente. Las siguientes breves directrices dan algunas indicaciones sobre cómo se puede proceder. Es improbable que este sea un proceso directo y es mejor que se lleve a cabo de alguna forma controlada por un panel de expertos.

El objetivo general es el de comparar el nuevo tipo de edificio con aquellos ya cubiertos e intentar establecer una equivalencia. Por ejemplo, si se considera que el tipo es tan fuerte como la construcción de ladrillo normal, pero no más fuerte, entonces se puede clasificar el tipo

como básicamente de la clase B. Si el tipo es tal que, debido a su ductilidad innata, nunca se comporta peor que los edificios de ladrillo, pero en algunos casos para los que la construcción es muy buena se comporta significativamente mejor, entonces se puede deducir que el tipo de vulnerabilidad debería representarse como un círculo bajo la B en la Tabla de Vulnerabilidad y con una línea que se extiende hasta la C pero no hasta la A.

La cuestión está en cómo establecer tal equivalencia. Idealmente, en un área donde el nuevo tipo de edificio coexiste con un tipo ya presente en la Tabla de Vulnerabilidad, los resultados de una encuesta de daños podrían usarse para establecer una clasificación objetiva. Por ejemplo, en una población, muchos edificios de ladrillo sufren daños de grado 2 pero solamente algunos de los edificios del nuevo tipo sufren daños similares. La intensidad se estima como 7 y la evidencia indica que el nuevo tipo de edificio es de clase C.

Si esto no es posible porque el nuevo tipo de edificio representa el tipo de construcción exclusiva del área, puede ser posible estimar el rango de intensidades 6-8 en base a otros diagnósticos y entonces, al considerar la proporción de edificios dañados, determinar la clase correcta de vulnerabilidad.

Si esto no funciona, tal vez se pueda estimar una equivalencia en terrenos teóricos desde una comparación de la ductilidad y la resistencia, tomando en consideración tanto los elementos horizontales como los verticales.

Se requiere ser cuidadoso en el caso de tipos de edificios que pueden ser considerados como construcciones compuestas. Un ejemplo lo brindan los edificios de madera recubiertos de ladrillo. En este caso, si el revestimiento no está bien afianzado a la estructura, puede ser muy débil y dañarse fácilmente, mientras que el armazón de madera permanece dúctil y no afectado. Tales edificios pueden sufrir daños no estructurales fácilmente, pero tienen una alta resistencia al colapso estructural. Los edificios con reforzamiento especial, como se discutió anteriormente, pueden suponer casos difíciles de diferenciar de manera simple.

3 Asignando la intensidad en base a registros históricos

3.1 Datos históricos y documentales

El término “datos históricos” se usa frecuentemente para indicar la descripción de los efectos ocasionados por un terremoto a partir de registros históricos, esto es, fuentes escritas previas al período instrumental (antes de 1900). Se debe enfatizar, sin embargo, que muchos datos macrosísmicos del mismo tipo todavía se encuentran disponibles y son usados para terremotos del siglo XX e incluso para eventos muy recientes.

Resulta por lo tanto razonable considerar los registros históricos y las evidencias escritas modernas juntos como “datos documentales”. Este término se usa aquí para diferenciar las descripciones de los efectos de un terremoto que han sido escritas para fines no sismológicos de aquellas que se han obtenido en base a cuestionarios de datos preparados bajo la tutela de sismólogos. Estos datos deben ser recuperados e interpretados de acuerdo a métodos históricos, independientemente de si corresponden 1890 o 1980.

Recuperar y manejar registros documentales requiere de cuidado y experiencia, como lo demuestra una vasta cantidad de literatura reciente. En particular, el investigador que procesa registros documentales debe ser consciente de que la información ha llegado a él después de un proceso largo y complejo. Es de mucha importancia, por lo tanto, comenzar considerando el contexto de los datos en términos históricos, geográficos y literarios.

Se debe poner especial atención en los siguientes puntos:

- (i) El valor de la fuente, considerando cuál es la motivación para escribir y el contexto en el cual se ha escrito. ¿Cuál era la sensibilidad de la fuente a los terremotos y otros fenómenos naturales? (Por ejemplo, para bajas intensidades es más probable que un diario personal contenga el registro de un terremoto y no las actas de un consejo municipal).
- (ii) El contexto bajo el cual aparece el informe puede contener información relevante y no debería ignorarse. Por ejemplo, un libro puede contener una descripción corta de los efectos de un terremoto en un capítulo e incluir detalles que corrigen esta información de alguna manera en otro lugar del volumen. Si el informe del terremoto ha sido extraído aisladamente, esta información, que puede ser vital, se perderá. La naturaleza de la redacción también es importante y la información no debería reducirse a un resumen extremadamente corto que elimine los matices del documento original.
- (iii) La localización espacio-temporal de la información es muy importante: un manejo descuidado de este aspecto puede resultar en la duplicación de terremotos, datos de un terremoto atribuidos a un evento diferente, o al terremoto correcto pero en la localización equivocada. En algunos casos no se pueden asignar el lugar, el tiempo o ambos con seguridad – en tales casos esto se debe indicar claramente cuando se compilen los datos.

No se pretende que estas indicaciones sean una guía exhaustiva sobre las prácticas de la investigación sísmica histórica, un tema discutido ampliamente en la literatura.

3.2 Tipos de edificios (clases de vulnerabilidad) en registros históricos

Los informes históricos normalmente describen de forma detallada los daños que sufren los monumentos especiales (castillos, iglesias, torres, columnas, etc.). Las descripciones de los efectos en edificios ordinarios, que son los únicos que se pueden usar en el marco de la escala, son menos frecuencia. Los datos sobre monumentos se discuten más adelante en la Sección 3.5, dado que el tratamiento de este tipo de construcciones presenta problemas especiales.

Con respecto a los edificios ordinarios, las clases de vulnerabilidad de las viviendas tradicionales abarcan en la mayoría de los casos de la A a la B, incluso la C y la D (estructuras de madera). Se conoce muy poco sobre los tipos de edificios en Europa hasta el siglo XVII a partir de la literatura general, excepto por el hecho obvio de que la gente usaba los materiales más a mano, y que cuanto más rico era el dueño, más probable es que su vivienda estuviera mejor construida y mantenida. Pero en la Edad Media, seguramente la mayoría de las viviendas en muchos lugares de Europa eran de madera, y la transición al ladrillo o la roca fue lenta y en algunos casos solamente parcial. Sin información detallada, es muy difícil hacer aseveraciones fiables con respecto a la resistencia de estas estructuras; no es seguro, por ejemplo, si las estructuras medievales de madera eran tan fuertes como las que se conocen hoy.

Se pueden sugerir algunos métodos para resolver este problema. Por ejemplo, si se cree que el tipo de vivienda en un sitio y época particular se clasificaban bajo la clase de vulnerabilidad A o B, es posible asignar la intensidad asumiendo la clase A, hacer una segunda asignación asumiendo la clase B y entonces usar el rango de valores obtenido por las dos asignaciones. También podrían considerarse otros factores culturales: si existe evidencia de que las estructuras eran más débiles en áreas rurales pobres que en poblados más ricos, es razonable asumir una mayor proporción de clase de vulnerabilidad A en aldeas y B en los pueblos. También, para resolver algunas situaciones puede ser útil la noción de que las primeras estructuras que se dañan son aquellas que están en peor condición (pero este criterio no debe usarse ciega o automáticamente).

3.3 Número total de edificios

Para asignar la intensidad usando el porcentaje de viviendas dañadas es necesario conocer no solamente cuántas viviendas fueron dañadas, sino también cuántas no lo fueron. Las fuentes de datos que describen los daños no suelen incluir este tipo de información de forma sistemática. Sin embargo, la información con respecto al número total de edificios en una localidad puede obtenerse con relativo éxito investigando otros tipos de fuentes, tales como estudios demográficos, trabajos topográficos, datos de censos, etc. En algunos casos se pueden encontrar

datos fiables sin dificultad. Sin embargo, con frecuencia es necesario hacer uso de extrapolaciones basadas en datos de población asumiendo varias suposiciones y correlaciones. Estos datos incluirán probablemente cierta incertidumbre que debe ser considerada cuando se estime la intensidad, lo que muchas veces conduce a estimaciones inciertas pero útiles a pesar de todo.

Una complicación adicional es que los datos disponibles pueden referirse al territorio que rodea a una pequeña población, incluyendo algunos pueblos, aldeas y viviendas aisladas, aunque la redacción sugiera que sea el pueblo en sí el que se describe. La descripción de daños puede sufrir el mismo problema. Tanto si este problema puede resolverse como en el caso contrario, esta situación puede llevar a errores en la interpretación de ± 1 grado. En tales casos probablemente sea mejor ceñirse a un rango de intensidades, tal como 7-8, etc.

3.4 *Calidad de las descripciones*

Dependiendo de su naturaleza, los documentos que describen los efectos de terremotos se concentran normalmente en los aspectos más notables o impactantes, a costa de excluir todos los demás detalles. El silencio de una fuente con respecto a efectos menores se puede deber a diversos factores y no puede ser usado como una prueba de que no sucediera nada además de lo que se describe. Igualmente, la asunción opuesta es también inválida: por ejemplo, tiene poco sentido hacer extrapolaciones tales como “si el campanario quedó destruido, entonces deberían haber ocurrido al menos daños menores en la mayoría de los edificios”. La única manera de mejorar los datos es mediante investigaciones adicionales (y esto también puede simplemente no proporcionar más información). Las descripciones adicionales llevadas a cabo a los pocos días, semanas o incluso meses después de un terremoto, de las mismas u otras fuentes, puede ser esclarecedoras, ya sea proporcionando datos nuevos sobre los daños o evidencia indirecta de dichos daños. Por ejemplo, la evidencia de que la vida cotidiana continúa en forma rutinaria después de un terremoto – la gente continúa viviendo y trabajando en sus casas, el consejo municipal se reúne como siempre, los servicios religiosos continúan – puede ser considerada como incompatible con una descripción de daños que incite a creer que la intensidad haya sido de nivel 9.

Si los datos son escasos después de que se hayan agotado todos los caminos, debe aceptarse la situación como tal y fijar la intensidad con un rango de incertidumbre que represente apropiadamente la pobreza de los datos. Un procedimiento adecuado es el de mantener un registro sobre cómo se han tomado las decisiones.

3.5 *Daños a monumentos*

Las fuentes documentales normalmente recogen de mejor forma los daños causados a monumentos que los daños causados a viviendas ordinarias por dos buenas razones:

- (i) Estos edificios son más importantes para el escritor de los informes por su valor social, económico, simbólico o cultural.
- (ii) La complejidad estructural y no estructural de tales edificios es tal que es más probable que sean dañados a que lo sean los edificios ordinarios, aun cuando estén mejor contruidos.

Este es el caso, por ejemplo, cuando pequeñas decoraciones arquitectónicas se desprenden en las iglesias durante la vibración ocasionada por un terremoto, generalmente por debajo del nivel en el cual ocurren los daños. Se debe ser cuidadoso de no sobreestimar la intensidad como resultado de tales efectos.

Los monumentos son normalmente únicos, o hay solamente muy pocos en un lugar concreto. Por esto, es imposible usar datos referentes a ellos de forma estadística, como lo requiere la escala. Tales datos deben ser manejados con cuidado, como complementarios de otras evidencias (sí existen). Si solamente se cuenta con datos de este tipo, se deben usar rangos de intensidad para indicar la incertidumbre en la interpretación.

En algunos casos, donde se presentan descripciones detalladas de daños a edificios que aun están de pie y que pueden ser investigados, o para los cuales hay descripciones detalladas, se pueden obtener conclusiones útiles sobre la vibración del terremoto mediante un análisis llevado a cabo por un especialista.

4 El uso de escalas de intensidad

Tradicionalmente, las escalas de intensidad se han aplicado en la práctica por medio de un cuestionario y una visita de campo realizados inmediatamente después de un terremoto. Debido al creciente interés en terremotos pasados desde mediados de los 70, también ha habido un mayor uso de las escalas de intensidad como herramientas aplicables a documentos escritos de naturaleza muy heterogénea. Asimismo, es cada vez más común que ingenieros y planificadores recurran a la intensidad como parte de un procedimiento para construir herramientas de predicción para estimar posibles pérdidas futuras ocasionadas por terremotos. El objetivo de esta sección es el de presentar una discusión general sobre el uso de la escala EM-98 y no una guía completa sobre macrosismología. Sin embargo, sí se pueden mencionar algunos puntos que podrían ser útiles en el contexto presente.

4.1 *Intensidades observadas y extrapoladas*

La intensidad como se ha descrito en estas directrices se refiere enteramente a un parámetro derivado de datos de observación. Hay que mencionar que en ocasiones se encuentran valores de intensidades que no han sido asignados en base a observaciones en el sitio, sino a extrapolaciones o interpolaciones de datos de otros sitios. Esto ocurre con más frecuencia en catálogos cuyos creadores han hecho extrapolaciones a partir de valores observados para estimar la intensidad exactamente en el epicentro del terremoto.

La discusión de tales prácticas está fuera del alcance de estas directrices, pero sería de gran ayuda si todos los valores de intensidad que no fueran derivados directamente de observaciones reales se distinguieran claramente como tales cuando se citan.

4.2 *Correlaciones con parámetros de movimiento del suelo*

Se han hecho muchos intentos para establecer una correspondencia entre la intensidad y parámetros físicos específicos del movimiento de suelo, especialmente la aceleración máxima del suelo, y algunas escalas antiguas incluyeron el equivalente de este parámetro como parte de la escala. Si bien es innegable que los valores de intensidad obtenidos de los efectos observados son un producto del movimiento real del suelo, la relación entre estos es compleja y no se presta a correlaciones simples; también hay evidencias de que la aceleración máxima del suelo no es el parámetro más importante que afecta a la intensidad. La correlación entre intensidad y aceleración máxima del suelo muestra típicamente mucha dispersión, tan grande que limita el significado de los valores que se predicen (aunque la dispersión puede ser reducida usando aceleraciones espectrales).

Por esta razón no se ha intentado incluir una tabla comparativa de intensidad y parámetros de movimiento del suelo, tales como la aceleración. Esta es todavía un área de investigación activa.

4.3 Correlación con otras escalas

Idealmente, no se debería de tratar de convertir valores de una escala de intensidad a otra empleando fórmulas o tablas de conversión, a pesar de que varias de tales tablas hayan sido publicadas. En lugar de esto, los datos deberían ser evaluados nuevamente usando la escala en la cual se expresarán los resultados. En la práctica, esto es con frecuencia difícil o imposible y se termina por aplicar un factor de conversión de algún tipo.

La experiencia muestra que la comparación de diferentes escalas de intensidad está lejos de ser fácil y directa, ya que con frecuencia los valores varían más de un investigador a otro cuando se usa la misma escala, que cuando se cambia de una escala a la otra mientras el investigador sigue siendo el mismo. Esto es particularmente cierto para las principales escalas de doce grados, por la similitud esencial de su esquema. Si se intenta hacer una valoración comparativa se ponen de relieve las pequeñas diferencias de un modo muy literal, en cuyo caso la escala no se está usando de forma convencional, y el test queda invalidado. Por el contrario, si se usan las escalas en un modo más natural y flexible, las diferencias desaparecen en la interpretación.

En la mayoría de los casos no debería haber dificultad al convertir los valores MSK directamente en valores EMS. La diferencia más típica es que algunos valores inciertos tales como 4-5 MSK o 6-7 MSK seguramente serían asignados como 4 EMS o 6 EMS. Pueden darse otras diferencias al hacer interpretaciones literales o restringidas de la escala MSK. Por ejemplo, al leer literalmente del texto de la escala MSK, el umbral de daño corresponde a una intensidad 6. Sin embargo, la experiencia práctica ha demostrado que los daños ocurren algunas veces en casos donde el resto de los datos sugieren intensidades menores y correspondientemente algunos investigadores han permitido que se asignen intensidades con valores menores que 6 MSK aun cuando se hayan reportado daños. Otros investigadores que no permitieran esta flexibilidad pueden encontrar que las intensidades asignadas como 6 MSK en algunos casos se convierten en 5 EMS.

4.4 Calidad de la asignación de intensidad y muestras de datos

Un punto importante pero con frecuencia ignorado es que los datos macrosísmicos de los que dispone al usuario nunca o muy raramente representan un registro completo de los efectos que hayan ocurrido durante un terremoto. Cuando una ciudad con 20,000 edificios es sacudida por un terremoto, cada uno de esos edificios se verá afectado de una manera u otra. El usuario podría tener datos de tal vez unas decenas de edificios sobre los cuales basar su asignación. En otras palabras, sus datos son una muestra de una población completa de efectos observados. Entonces es lícito preguntarse: ¿es esta muestra realmente representativa de la población o no? Cuanto menor sea el número de informes, en números absolutos, mayor es la probabilidad de error en la proporción de observadores que informan de un cierto efecto, comparado con la proporción verdadera que sería observada a lo largo de toda la ciudad. Si los datos han sido obtenidos teniendo en cuenta técnicas de muestreo aleatorio adecuadas, entonces es posible calcular estadísticamente este error en la

muestra. Desafortunadamente, por lo general este no es el caso. Es recomendable que los involucrados en obtener y estudiar información macrosísmica se familiaricen con el cuestionario y las metodologías de muestreo desarrolladas en las ciencias sociales.

El usuario puede no ser capaz de mejorar la calidad de sus datos, pero tendría que tener al menos una idea sobre su calidad, y debería poder transmitir dicha información, ya sea mediante comentarios calificativos, la inclusión del número de muestras (por ejemplo el número de cuestionarios), o mediante algún sistema como el uso de un tamaño de letra menor para indicar intensidades derivadas de muestras poco sólidas.

El problema es probablemente menos severo y puede no aparecer en absoluto en los casos donde el usuario tiene control directo sobre la recogida de datos mediante una observación de campo. Puede ser severo cuando se reciben los datos de segunda y tercera mano. Un comentario dramático de un periodista sobre la intensidad de los efectos en un pueblo puede estar basado en muy poca investigación; el informe de un observador puede reescribirse como si estos efectos típicos cuando de hecho no lo son. Este es con frecuencia un problema particular en los estudios de terremotos históricos donde el usuario depende de los relativamente pocos datos que hayan tenido la fortuna de sobrevivir.

Un ejemplo puede ilustrar este aspecto. Supongamos que la única información de un pueblo es que mucha gente tuvo dificultad en mantenerse de pie. Este es un diagnóstico de intensidad 7, pero sin el respaldo de otros diagnósticos, ¿está justificado asignar una intensidad 7? Es difícil sentar directrices precisas con respecto a qué es y qué no es evidencia suficiente para fundamentar la determinación de la intensidad. Un enfoque útil cuando los datos son escasos consiste en resaltar la determinación de intensidades basadas en datos pobres usando “7?”, usando un tamaño de letra más pequeño o algún mecanismo similar. Como alternativa, se puede asignar un código de calidad a cada cálculo de intensidad.

4.5 *Calidad e incertidumbre*

Con frecuencia se dará el caso de que no se pueda decidir sobre un grado específico de intensidad con confianza. En tales casos es necesario decidir si se puede realizar una determinación aproximada la intensidad, o si los datos son tan contradictorios que es mejor dejar la cuestión sin solución.

En los casos en los cuales los datos satisfagan o excedan las descripciones de intensidad 6, pero que claramente no sean compatibles con aquellas para intensidad 7, lo mejor es tratar la intensidad como el valor menor. Se recomienda que el usuario mantenga el carácter entero de la escala y no use formas tales como “6.5” o “6 ½” o “6+”. Es dudoso que sea necesaria o realizable en la práctica una mayor resolución de la intensidad. Si se cree que es fundamental proporcionar mayor detalle por alguna razón, se debería hacer en una forma descriptiva.

Ejemplo: una villa tiene 180 viviendas (de mampostería), de las cuales 30 se determinan como de clase de vulnerabilidad A y las restantes como B. De las viviendas clase A, 15 sufren daños de grado 1, 10 sufren daños de grado 2 y 5 no sufren daños. De las viviendas clase B, 10 experimentan daños de grado 1, 5 sufren daños de grado 2 y el resto no sufren daños. Si se considera solamente los daños, se cuenta con la suficiente evidencia para justificar una intensidad 6, pero claramente no para justificar una intensidad 7 (sólo pocos B2, ningún A3). La intensidad se describe mejor como 6.

Puede haber casos en los cuales los datos se puedan interpretar igualmente como (por ejemplo) 6 o 7 (pero claramente no como 8). En tales casos la intensidad se debe escribir como 6-7, significando esto que es 6 o es 7; esto no implica un valor intermedio. Expresar la intensidad como un rango de valores es ahora una práctica común, especialmente para datos históricos que son normalmente escasos y con frecuencia insuficientes como para permitir obtener una mejor resolución. También es posible usar rangos de más de 2 grados; sería posible escribir 6-8 y esto no significa 7. Ejemplo: un documento dice “en nuestro pueblo las chimeneas se cayeron al suelo pero no hubo daños serios en las viviendas”. En este limitado informe no hay indicación de cuál fue el porcentaje de chimeneas que cayeron, así que la intensidad puede ser 6 o 7; la declaración de que definitivamente no hubo daños serios en las viviendas indica que la intensidad no es 8. La intensidad es entonces 6-7.

Cuando una mayor exactitud no sea posible se pueden aceptar determinaciones vagas, tales como <6 (menor que 6) o >7 (mayor que 7). Ejemplo: un documento dice: “hubo muchos daños en Cortona”. Si no se puede obtener más información, la intensidad es >6 . En teoría, se podría considerar que >6 se puede interpretar como 6-12, pero normalmente se pueden inferir límites superiores por motivos prácticos.

Un problema adicional es el causado por la ambigüedad de los datos; por ejemplo, los efectos en las personas pueden sugerir solamente intensidad 6, mientras que los efectos en las estructuras sugieren intensidad 8, o viceversa. Si este problema aparece sistemáticamente, puede indicar que existe algún factor cultural o regional significativo (la gente se alarma más fácilmente, técnicas locales de construcción de muy mala calidad), que debe ser considerado. Cuando se aplique la escala y donde este tipo de problemas ocurran y no se pueda discernir una cierta coherencia, es necesario expresar la intensidad mediante un rango, como se ha discutido anteriormente.

Siempre existirán casos en los cuales los datos están tan desprovistos de detalle, o son tan completamente contradictorios o increíbles, que no se pueda hacer una asignación. En tales casos es necesario adoptar alguna convención para indicar la observación, por ejemplo, un punto o una “S” para “sentido” y no hacer una asignación. De ser necesario, se puede incluir una cita a pie de página con las explicaciones del caso.

Ejemplo: una crónica declara: “este terremoto también se produjo en Ravenna, Ancona y Perugia”. No se puede asignar una intensidad a estos 3 lugares, pero debe quedar registrado que

el terremoto fue sentido mediante un símbolo apropiado (como una “S” o mediante un punto). Nótese que se desconoce si hubo o no daños en función de esta información tan limitada.

Se puede hacer una distinción entre lo que se podría denominar “certeza” y “calidad” (ambas palabras se usan aquí con un sentido especial). Los casos en los cuales los datos no permiten hacer una asignación precisa de la intensidad, de manera que las expresiones “6-7” ó “>6” sean necesarias, son casos en los que el valor de la intensidad es incierto. En estos casos, no existe la duda de que la intensidad asignada sea la mejor posible según los datos, pero los datos no son suficientes para permitir concretar en un único grado de intensidad. Los casos en los que los datos se corresponden exactamente con la escala, pero son tan pocos que no se puede estar seguro de que sean representativos de todo lo que se observara, son casos en los que el valor es lo que se puede llamar de baja calidad. Un ejemplo puede ser un informe que indicara solamente “en Manchester las ventanas vibraron”; esto sugiere una intensidad 4 y ningún otro valor, pero dependiendo de qué más fue observado y en qué cantidades, la intensidad actual bien pudo haber estado en cualquier lugar del rango 3-5. En este tipo de casos sí se tiene un único valor de intensidad en base a los datos, pero se entiende que puede no ser el correcto, y que si se contara con más datos, la estimación de la intensidad podría cambiar. Es posible que los datos sean tanto inciertos como de mala calidad. Se recomienda que los valores que sean de mala calidad se resalten de alguna manera, si es que tienen que usarse.

4.6 Curvas de daño

Las escalas antiguas de intensidad generalmente manejaban el daño de una forma limitada y restringida, asumiendo que dada una cierta intensidad debería ocurrir un cierto tipo de daños en los edificios, lo que implicaría que la distribución de daños es uniforme. Esto se suavizó de alguna manera en el comentario que prologaba la formulación de la escala Modificada Mercalli de Richter en 1956, donde se indicaba que cualquier efecto podría observarse de una forma más tenue o en algunos casos aislados para un grado de intensidad menor a aquel en el que se supone que debería ocurrir. Por lo tanto, fue un gran avance cuando la escala MSK introdujo un enfoque del daño tanto cuantitativo como cualitativo, lo que se ha continuado y mejorado en la EM-98. El aspecto cualitativo se ocupa del tipo de edificio y su vulnerabilidad; el aspecto cuantitativo se ocupa de la probabilidad de ocurrencia de distintos grados de daño.

Generalmente, para aquellos grados de intensidad en los cuales ocurren daños, en estos se observa una progresión lineal. Si la cantidad de daños es la misma, para cada incremento de una clase en la vulnerabilidad la asignación de intensidad resultante también se incrementa en un grado. Estos patrones de daños que aumentan según aumenta la intensidad se derivan de distribuciones estadísticas observadas para daños estructurales y no estructurales. Aunque se pueden encontrar distribuciones irregulares de daños en casos excepcionales, es de esperar que, muy probablemente, cualquier distribución de daños observada en el campo para una intensidad particular se corresponda con las que aquí se presentan.

En el caso ideal, se podría considerar la distribución de daños a edificios de igual vulnerabilidad sometidos a la misma intensidad como una distribución normal centrada en el grado de daño medio. Los grados de daño dados en la escala EM-98 representan la discretización de un continuo de grados de daño posibles; tal discretización es necesaria con el fin de permitir una discriminación simple en el campo. Si se pudiera representar una función de daño más continua, debería mostrar una distribución normal, y los diagnósticos de daños dados en la escala representarían puntos de muestra en esta curva. Hay que recordar que estos son solamente puntos de muestra y que también pueden observarse intersecciones de otros grados de daño en la curva. Si para algún grado de intensidad se define que pocos edificios de cierta clase de vulnerabilidad sufren daños de grado 3, mientras que muchos sufren daños de grado 2, hay que recordar que también se encontrarán observaciones en el lado inferior de la distribución; en este caso, también se puede esperar que muchos edificios sufran daños de grado 1 y que unos pocos no sufran daño alguno.

Así como los grados de daño definidos representan puntos discretos en una función de daño continua que abarca todo el rango, desde ningún daño hasta el colapso total, también los grados de la escala de intensidad representan etapas discernibles de una hipotética función de vibración continua. Puede imaginarse, de nuevo en un caso idealizado, que según aumenta la intensidad, la distribución de daños se traslada cada vez a puntos más altos de la función de daño, a la vez que mantiene la forma esencial.

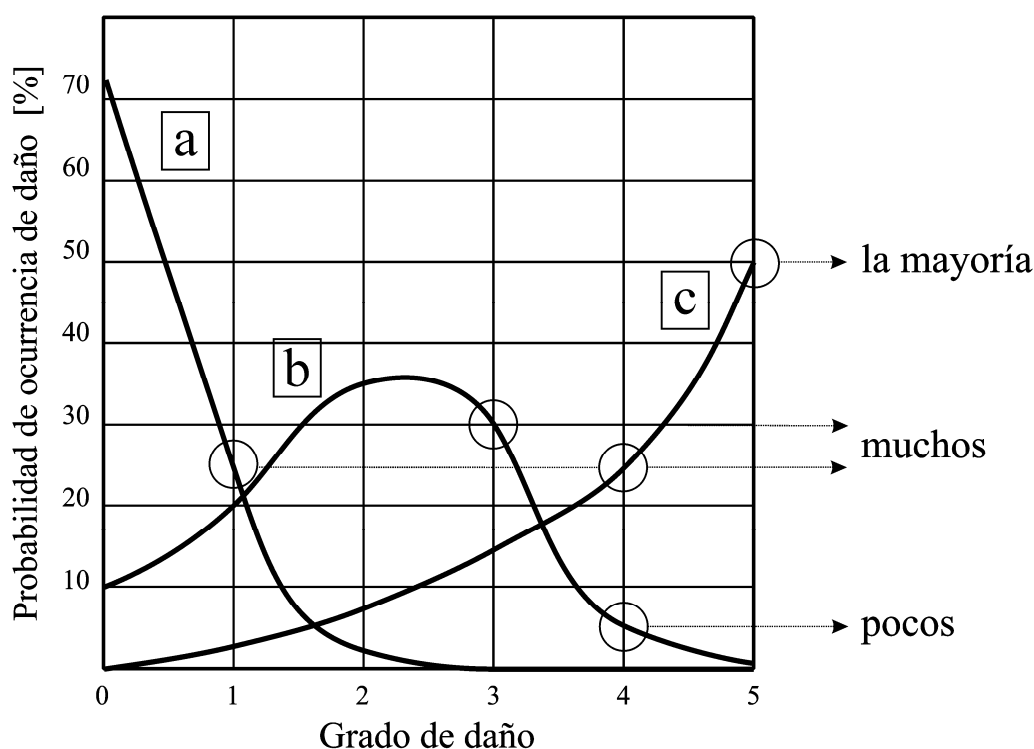
Sin embargo, dado que la función de daño tiene cotas superior e inferior absolutas, la forma de la distribución de daños debe cambiar conforme se acerque a estas cotas. Por ello, en las intensidades bajas se observa el extremo frontal de una curva normal para grados de daño bajos, de tal forma que el grueso de la distribución se “amontona” en el punto que representa la ausencia de daños, dado que no se permiten grados de daños negativos. Y de igual manera, para altas intensidades idealmente se debería ver el extremo final de la curva normal para grados de daño altos, mientras que el grueso de la distribución se amontona en el punto que representa el colapso completo, el cual no puede excederse.

Esto se ilustra gráficamente en la figura 4-1, en la cual se muestran los tres principales tipos de funciones de daño: “tipo a” para intensidades bajas (típica para la intensidad 6), donde la función muestra una probabilidad de daño monótona decreciente para los grados mayores; “tipo b” que representa el caso básico en el cual se observa la distribución normal de probabilidades alrededor del grado de daño medio; y “tipo c”, que es una probabilidad monótona creciente con los grados de daño crecientes, típica de las intensidades más altas (como la intensidad 10). En la figura 4-1 las curvas que se muestran son típicas de observaciones de campo correspondientes a tipos de edificios individuales más que a clases de vulnerabilidad, pero para estas últimas el principio es el mismo.

La definición o descripción de los grados de intensidad en la escala se realiza seleccionando uno o dos puntos de intersección típicos en estas curvas para cada clase de vulnerabilidad, donde la curva interseca un grado de daño particular. De esta forma, por ejemplo, para

intensidad 8 y clase de vulnerabilidad C, los puntos de intersección en la función de daño son los correspondientes a los grados de daño 2 y 3; no se dice nada sobre la probabilidad de grado de daño 1 o de que no haya daños, pero estas existen y están implícitas en la figura 4-1. Los puntos dados se expresan generalmente en términos del grado o los grados de daño más altos esperados (la “decisión del daño máximo”); estos son probablemente los que mejor puedan ser descritos o examinados.

El uso de resultados estadísticos de encuestas de daños puede ser la clave para introducir nuevos tipos de edificios, así como para establecer mejores correlaciones entre tipos particulares de edificios y las clases de vulnerabilidad más probables.



○ Puntos de intersección entre funciones de probabilidades de daño y grados de daño tomados para clasificación de grados de intensidad

Niveles de intensidad:

a I = VI **b** I = VIII **c** I = X

Figura 4-1 Relación entre distribuciones típicas de frecuencia de grados de daño para distintos grados de intensidad y definiciones usadas en la escala de intensidad presentada.

4.7 Limitaciones de las escalas de doce grados

Se puede comentar brevemente que aunque la escala EM-98 tiene doce grados, al igual que otras escalas tales como la MSK, la mayoría de las versiones de la MM, etc., en la práctica tienden a funcionar como escalas de ocho grados. La intensidad 1 significa en la práctica “no sentido”, y la intensidad 2 es tan débil que normalmente no se informa de ella y se usa muy raramente. En el otro extremo de la escala, la intensidad 12 se define de tal modo que describe los efectos máximos concebibles, que no necesariamente han de poder ser observados en un terremoto. Las intensidades 10 y 11 son difíciles de distinguir en la práctica, así que la intensidad 11 se usa en raras ocasiones. Así pues, el “rango funcional” de todas estas escalas tiende normalmente a ser de la intensidad 3 a la intensidad 10.

4.8 El supuesto grado “desaparecido” de la escala MSK

Uno de los problemas que tuvo que tratar el Grupo de Trabajo en la revisión de la escala de intensidad MSK fue la percepción de la ausencia de un grado de intensidad entre 6 y 7 MSK. El problema se consideró con bastante detalle y se llegó a la conclusión de que dicha ausencia es una ilusión. Se puede demostrar fácilmente que este es el caso. Si la escala MSK no fuera lineal debido a la ausencia de un grado de intensidad no presente entre 6 y 7, esto resultaría obvio al estudiar los mapas de isointensidades sísmicas. Todos estos mapas deberían mostrar un intervalo desproporcionadamente amplio entre las isointensidades 6 y 7 MSK en comparación con 5 y 6, MSK y 7 y 8 MSK. Durante treinta años de uso de la escala MSK, nadie ha mostrado tal problema. Por lo tanto la escala tiene que ser lineal en la forma en la que se ha definido.

¿Porque persiste entonces esta ilusión? Para contestar esta pregunta es necesario analizar de nuevo la naturaleza de la intensidad y de las escalas de intensidad. Si se considerara la vibración del suelo como un parámetro físico, o más bien, como una combinación de parámetros físicos en la cual aceleración, velocidad, desplazamiento y duración se combinan, se puede imaginar que exista un completo espectro continuo de valores posibles, que abarquen desde el caso en el cual no existe ninguna vibración hasta el movimiento máximo creíble asociado a un terremoto. Dado que la intensidad es en cierta forma un análogo de esta combinación de parámetros del movimiento de suelo, también tiene un rango hipotético continuo desde la nada hasta los efectos máximos posibles.

Sin embargo, la intensidad no se puede definir como un parámetro continuo. Para que sea robusta, tiene que estar discretizada en valores enteros. Esto significa asignar un valor a los estados mínimo y máximo y tomar un número de puntos igualmente espaciados entre ellos, para los que la fuerza de los efectos se pueda describir de forma clara. Está claro que la naturaleza no ha de seguir la descripción de la escala de intensidad en una serie de pasos; sería absurdo imaginar que en la realidad los efectos cerca del epicentro debieran seguir exactamente la descripción de (digamos) intensidad 8 hasta cierta distancia sin mostrar variación y entonces caer abruptamente a la descripción para la intensidad 7 y así sucesivamente.

El número de divisiones y dónde se hacen tienen que satisfacer dos criterios: uno, que estén uniformemente separados, y segundo, que sean distinguibles el uno del otro en la práctica. La experiencia a lo largo del siglo XX parece indicar que el número óptimo de grados que se pueden distinguir en la práctica, manteniendo este espaciado uniforme, es doce. Algunos investigadores han encontrado que en circunstancias concretas, especialmente trabajando con datos históricos, el número de grados óptimo es menor, pero para la mayoría de estudios modernos las escalas de doce grados parecen funcionar bien.

Sin embargo, esto no significa que ciertas divisiones no se puedan distinguir, particularmente en los casos en los que aparezca algún tipo de efecto extremo; por ejemplo, que aparezca algún nuevo diagnóstico por primera vez, como contraposición a simplemente aumentar la frecuencia de observaciones. Este es el caso entre la intensidad 6 y la 7, donde se puede definir un grado intermedio que es mayor que la descripción asignada a 6 y menor que la descripción para el grado 7. Sin embargo, el hecho de que se pueda definir tal grado intermedio más fácilmente en esta parte de la escala que en otras partes no representa ninguna ayuda. No tiene valor el tener un grado extra que no es lineal con respecto al resto de la escala.

A efectos prácticos, doce grados de intensidad deberían ser suficientes, y se recomienda que los usuarios no inviertan tiempo tratando de interpolar grados intermedios, aun en los casos donde tales grados puedan ser distinguidos. La práctica más robusta y simple es la de redondear hacia el grado inferior todas las intensidades “fraccionales” para obtener el valor entero de intensidad correcto. Por lo tanto, los efectos que correspondan a un grado intermedio entre 6 y 7 deberían asignarse a un valor 6 EMS.

5 Ejemplos ilustrativos de la clasificación de daños en tipos de edificios

Los ejemplos de daños causados a edificios por terremotos se clasifican según los distintos tipos de estructuras (ver Tabla de Vulnerabilidad de la EMS-98) y el grado de daño (de 1 a 5) que han experimentado (ver Clasificación del daño de la EMS-98).

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|-----------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de adobe | Kazajstán del Este 1990 / Saisan | | | ● | | |
| | | | | | | |



Comentario:

Las grietas largas y extensas en la mayoría de los muros sugieren un daño de grado 3.

Figura 5 - 1

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|-----------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de adobe | Carpatia 1986 / Moldava, Leovo | | | | | |
| | | | | | ● | |



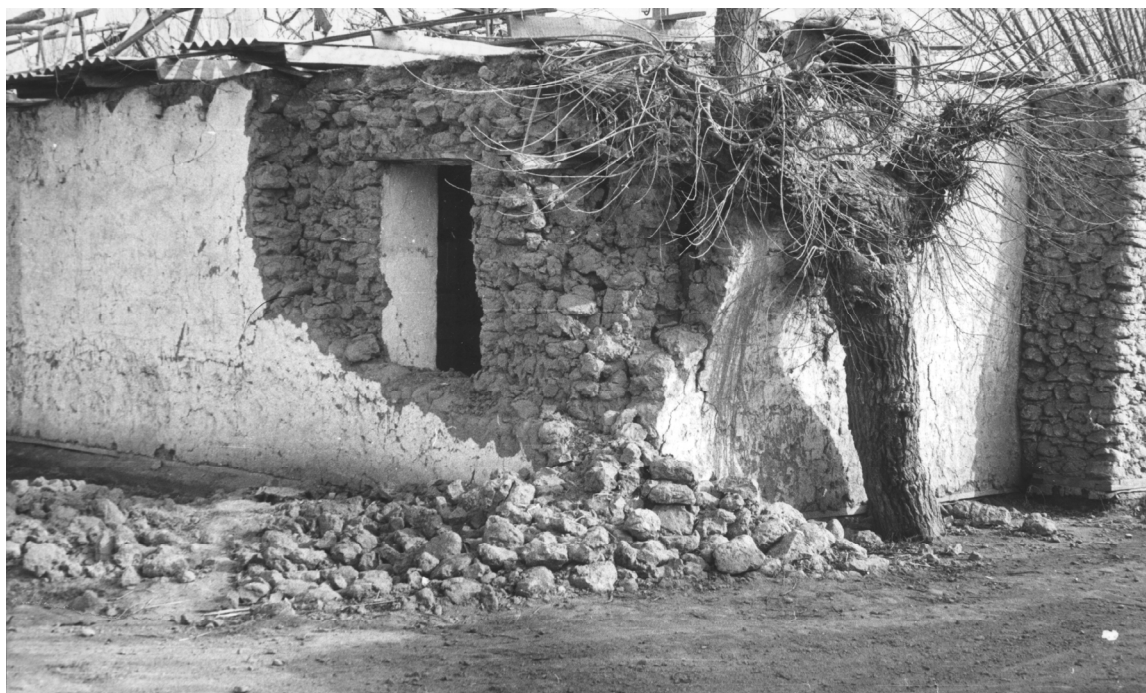
Comentario:

La pérdida de conexión entre los muros externos y la falla parcial en la parte inferior de la esquina izquierda sugiere daños de grado 4 (fallas serias en los muros).

La parte derecha del edificio parece no tener daños serios y está obviamente en un mejor estado. Una clasificación final debería considerar las razones para estas diferencias.

Figura 5 - 2

| | | | | | | |
|-----------------------------|--|---------------|---|---|---|---|
| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
| Mampostería de adobe | Tayiquistán 1985 / Kairakkoum | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | ● | |



Comentario:

Este ejemplo muestra serias fallas en los muros, se considera un daño de grado 4.

Figura 5 - 3

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de roca de cantera | Peloponeso del Norte, Grecia 1995 / Aegión | | | | ● | |
| | | | | | | |



Comentario:

Las fallas serias en los muros de este ejemplo indican daños de grado 4. La vulnerabilidad se ve afectada por la mala calidad del mortero y la ineficacia de los elementos de hormigón en la construcción.

Figura 5 - 4

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---|--|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de roca de cantera (en un mortero muy pobre) | Campaña-Basilicata, Italia 1980 / Balvano | | | | | ● |



Comentario:

Las losas de los pisos han fallado, al igual que casi todos los muros. Este es un daño estructural muy grave y el grado de daño es 5.

Figura 5 - 5

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de roca simple | Grison, Suiza 1991 / Vaz | | | | | |
| | | | ● | | | |



Comentario:

La larga grieta en este muro es suficientemente grande como para constituir un daño estructural leve. Se debe considerar el daño como de grado 2.

Figura 5 - 6

| | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---|---|---|---|
| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | TERREMOTO / SITIO | | | | |
| Mampostería de roca simple | Montenegro, Yugoslavia 1979 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | ● | | |



Comentario:

El elemento central del muro que falló arriba es un frontón y no un muro de sostén para el techo. Hay por tanto daño no estructural y debe ser clasificado como daño no estructural serio, de grado 3.

Figura 5 - 7

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------------|--|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería de roca simple | Montenegro, Yugoslavia 1979 | | | | ● | |
| | | | | | | |



Comentario:

Han fallado segmentos de los muros de soporte, ocasionando un colapso parcial del techo y de las losas del piso. Este es un daño estructural serio y por lo tanto el daño es de grado 4.

Figura 5 - 8

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada | Bohemia del Noroeste - Vogtland 1985, República Checa / Skalná | | | | | |
| | | | ● | | | |

Comentario:

Aunque no se aprecia daño estructural desde fuera, en el interior se puede observar que las grietas han ocurrido en intersecciones de paredes, lo que corresponde a daño estructural leve. Varias piezas bastante grandes de guarnecido han caído de muros exteriores e interiores. El daño es de grado 2.



Figura 5 - 9

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada | Roermond, Países Bajos, 1992 / Heinsberg | | | | | |
| | | | ● | | | |



Comentario:

Varias chimeneas han sufrido daños y las tejas se han movido en el techo. No se observaron grietas extensas y largas en la mayoría de los muros, por lo tanto el daño se estima como de grado 2.

Nota: la chimenea a la izquierda de la foto estaba fracturada debido a las diferencias en el comportamiento de vibración de los dos edificios adyacentes. Partes de la chimenea fracturada golpearon el techo y dislocaron tejas; este daño a las tejas es por tanto un efecto secundario y no causado directamente por la vibración del terremoto.

Figura 5 - 10

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------|--|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada | Schwäbische Alb, 1978 Alemania / Albstadt | | | | | |
| | | | ● | | | |



Comentario:

Han aparecido muchas grietas verticales como resultado de la separación entre muros. Este es un daño estructural leve y el daño es de grado 2.

Figura 5 - 11

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------|--|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada | Corregio, Italia 1996 / Bagnolo (Reggio Emilia) | | | | | |
| | | | ● | | | |



Comentario:

Al observar los muros exteriores uno puede ver muchas grietas en la pared de ladrillo exterior, indicando daños de grado 2. Se debería inspeccionar también el interior del edificio para confirmar esta asignación del grado de daño.

Figura 5 - 12

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada | Friuli, Italia 1976 / Gemona (Udine) | | | ● | | |
| | | | | | | |



Comentario:

Hay muchas grietas diagonales en la mayoría de muros, pero no son muy severas y los muros no han fallado. En este caso el daño es de grado 3.

Nota: obsérvese la diferencia en la clasificación del grado de daño con respecto a la figura siguiente.

Figura 5 - 13

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---|---|---------------|---|---|---|---|
| Mampostería no reforzada con pisos de HA | Friuli, Italia 1976 / Braulins (Udine) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | ● | |



Comentario:

Las grandes grietas diagonales en los muros y la pérdida parcial de conexión entre los muros externos indican daño estructural serio. Este es un daño de grado 4.

Figura 5 - 14

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|---|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mampostería no reforzada con pisos de HA | Peloponesio del Norte, Grecia, 1995 / Aegión | | | ● | | |



Comentario:

Las grietas en los muros exteriores son largas y extensas, pero no todas atraviesan el grosor del muro. Este es un daño estructural moderado de grado 3.

Figura 5 - 15

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Almacén de HA | Ciudad de México, 1985 | | | ● | | |



Comentario:

Este edificio de HA ha sufrido grietas en las columnas y en las paredes divisorias, con el desprendimiento de segmentos de guarnecido; en algunos casos existe una falla parcial en las paredes de ladrillo. El daño estructural (a las columnas) es moderado y el daño no estructural (a las paredes de ladrillo) es serio, implicando un daño de grado 3.

Figura 5 - 16

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|----------------------|--|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Armazón de HA | Irpinia-Basilicata, Italia 1987 / San Ángel de Lombardi | | | | ● | |



Comentario:

Muchas paredes exteriores fallaron completamente, lo que representa un daño no estructural serio. En algunos casos se presenta daño a las uniones viga-columna. Este es un daño de grado 4.

Figura 5 - 17

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------|--|---|---|---|---|
| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
| Armazón de HA | | Peloponesio del Norte, Grecia, 1995 / Aegió | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | | ● |



Comentario:

El piso inferior se ha colapsado totalmente. En tales casos el daño es de grado 5.



Figura 5 - 18

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------|---|---|---|---|---|
| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
| Almacén de HA | | Peloponesio del Norte, Grecia, 1995 / Aegión | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | | ● |



Comentario:

La parte central de este edificio se ha colapsado completamente, ocasionando un daño de grado 5.

Figura 5 - 19

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|--------------------|-------------------|----------------------|------------------------------|---|---|---|
| | | Armazón de HA | Ciudad de México 1985 | 1 | 2 | 3 |
| | | | | | ● | |



Comentario:

Este edificio ha sufrido colapso parcial en el segmento superior. Aunque los pisos superiores se han colapsado individualmente, ningún segmento del edificio se ha colapsado totalmente hasta el nivel del suelo, por lo que el daño es solamente de grado 4.

Figura 5 - 20

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|----------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Almacén de HA | Spitak, Armenia 1988 / Leninakan | | | | | ● |



Comentario:

Este es obviamente un daño estructural muy grave, casi un colapso total y por lo tanto el daño es de grado 5.

Nota: esta estructura de almacén de HA que incorporaba hasta cierto punto diseño sismorresistente fue afectada de forma negativa por la falta de acoplamiento entre vigas y columnas. Este tipo de edificio es un ejemplo típico de dónde asignar una clase de vulnerabilidad baja, en este caso B, lo cual representa una clase excepcionalmente baja para este tipo de estructura.

Figura 5 - 21

| | | | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------|---|---|---|---|
| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
| Muros de HA | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | | ● |



Comentario:

El primer piso se ha colapsado completamente, este es un daño de grado 5.

Figura 5 - 22

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|--------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| Muros de HA | Gran Hanshin, Japón, 1995 / Kobe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | ● | | |



Comentario:

Este edificio ha sufrido daño estructural moderado en toda su altura. Las grietas se concentran en los elementos débiles de las columnas cortas de la fachada exterior. No se ha comprometido la integridad del edificio completo. El daño se asigna como de grado 3.

Figura 5 - 23

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|-------------------------|---|---------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Armazón de acero | Gran Hanshin, Japón, 1995 / Kobe | | | | ● | |



Comentario:

Uno de los pisos superiores del edificio se ha colapsado y hay flexión lateral de las columnas; esto es indicativo de daño estructural grave. Algunas de las paredes divisorias han fallado debido a la falla de las uniones. Este debe asignarse como daño de grado 4.

Figura 5 - 24

| TIPO DE ESTRUCTURA | TERREMOTO / SITIO | GRADO DE DAÑO | | | | |
|-----------------------------|-------------------|---|---|---|---|---|
| Estructura de madera | | Gran Hanshin, Japón, 1995 / Kobe | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | ● | |



Comentario:

El edificio de la izquierda ha sufrido grandes daños en las uniones del armazón del edificio. El daño se debería asignar como daño de grado 4.

Nota: debido a la debilidad del sistema de rigidez en el primer piso (un piso débil) todo el edificio se ha desplazado hacia la derecha. El edificio vecino proporcionó soporte lateral, por lo que el colapso de este edificio no es total, y es una buena ilustración del efecto que puede jugar la posición de un edificio con relación a otros edificios.

Figura 5 - 25

Referencias de las fotografías:

Figuras 5 - 1, 5 - 2, 5 - 3 por E. T. Kenjebaev y A. S. Taubaev (Almaty);

Figuras 5 - 5, 5 - 7, 5 - 8, 5 - 16, 5 - 17, 5 - 20, 5 - 21 por H. Tiedemann (Swiss Reinsurance Company, Zúrich);

Figuras 5 - 4, 5 - 6, 5 - 15, 5 - 18, 5 - 19, 5 - 22, 5 - 23, 5 - 24, 5 - 25 por Th. Wenk (Eidgenössische Technische Hochschule, Zúrich);

Figuras 5 - 13, 5 - 14 por D. Molin (Servizio Sismico Nazionale, Roma);

Figura 5 - 12 por A. Tertulliani (Istituto Nazionale di Geofisica, Roma);

Figuras 5 - 9, 5 - 10 por G. Grünthal (GeoForschungsZentrum, Potsdam);

Figura 5 - 11 por Landesstelle für Bautechnik Baden Württemberg.

6 Ejemplos de asignación de intensidad

Ejemplo 1 – A partir de datos documentales

Las siguientes dos descripciones se refieren a efectos asociados al terremoto de Alps Maritime del 20 de julio de 1564, en La Bollène, Roquebillière y Belvédère, en el área de Nissard (Francia).

El siguiente relato fue escrito por un notario de Niza, Lubonis; el texto original se perdió y sólo se conoce gracias a una transcripción hecha por Scaliero, un historiador local del siglo XVIII, quien afirma que este texto está anexado al protocolo notarial de 1564.

“De admirabili hora et horrendo terremotu in comitatu Niciense ipso. Anno ipsi millesimo quingentésimo [quingentesimo eliminado] sexagesimo quarto indictione septima et die iovis vigesima iulii circa UNAM horam noctis fuit quidam terremotus in Comitatu Niciense absque tamen aliquo damno veruntamen tota nocte per illius discursum sepius iterato ipso terremotu in vale Lantusie qui adeo infremuit et impetum fecit ut locus Boleen omnino devastatus et diriptus remansit ad quod omnes parietes domorum dirupte sunt et duo partes ex tribus personarum eiusdem loci mortui sunt et fere alia tertia pars remansit vulnerata in locis rocabigliera et de bello vedere fere pro dimidia remansit dirupta et devastata adeo quod in loco Rocabigliera mortui sunt viginti due et fere sexaginta vulnerati in loci de bello vedere mortui sunt quinquaginta et totidem vulnerati

a fol. 79 dicto, del protocolo di Gio. Lubonis del 1564.”

El segundo registro es una historia de Provenza por Caesar Nostradamus, el hijo mayor del célebre Michel; esta fuente contiene un informe del cual se dice haber sido plasmado “en un rollo escrito en nizado por alguien del área de Niza que pasó en Salon [Salon-de-Provenza, donde Nostradamus pasó la última parte de su vida] al mismo tiempo” del terremoto:

“En ce mesme temps [1564] passa par nostre ville de Sallon, un qui se disoit de ces quartiers la, lequell racompant ces tristes coses et ces tant estranges prodiges, laissa un roolle en sa langue naturelle et Nissarde qui est comme un vieil Provençal des villes et chasteaux ruynes: ... La Boullene entierement et de fond en comble ruynee, deux cens cinquante morts, et quatorze blessés”.

Análisis

Este relato es típico del tipo de material con el cual debe trabajarse en el caso de terremotos históricos antiguos. La cantidad de detalles es extremadamente limitada, tanto con respecto al tipo de daños, como con respecto al tipo de viviendas. Desde una valoración superficial, puede parecer que la escala EM es menos capaz que las otras escalas de manejar casos donde no haya información detallada sobre los edificios. Esto no es cierto, ya que las otras escalas hacen asunciones ocultas

sobre el tipo de edificios, lo que restringe las opciones del usuario, o usan categorizaciones amplias que limitan la resolución.

Tomando el caso de Bolene, la información se reduce a la declaración de que “todos los muros de las viviendas se colapsaron”. Las preguntas que se deben hacer son: (a) ¿cuál era la clase de vulnerabilidad de los edificios?; (b) ¿cuál fue el grado actual de daño y la distribución de daños?; y paralelamente, (c) ¿hasta qué punto está exagerado el informe? Tomando estas preguntas en orden inverso, la experiencia indica que en las descripciones históricas de daños por terremoto frecuentemente se presenta algún grado de exageración, y que cuanto menos detalles, más probable es que estos sean inexactos. Las exageraciones se manifiesta de dos maneras. Las cantidades se pueden exagerar: “todos” es más probable que signifique “la mayoría”. El grado se puede exagerar: “se colapsaron” muchas veces resulta significar “seriamente dañado”. Por eso, la probable interpretación de “todos los muros de las viviendas se colapsaron” es que la mayoría de edificios sufrieron daños de grados 4 y 5, algunos tal vez se dañaran aun menos. Con respecto a la vulnerabilidad, se puede esperar una mezcla de A y B por lo que se conoce generalmente sobre los edificios históricos del área. Si supiéramos que la distribución exacta de daños consistió en que muchos edificios sufrieron daños de grado 4, entonces si todos los edificios eran de clase A asignaríamos intensidad 8 y si eran de clase B entonces 9. Esto nos daría un rango de valores entre los cuales puede estar la intensidad en el caso más probable de que hubiera una mezcla de clases A y B. A menos que se tuviera una razón para suponer que la gran mayoría de edificios deberían estar en una clase o en la otra, la asignación de 8-9 sería el resultado lógico. En este caso tenemos la incertidumbre adicional con respecto a la extensión de los daños, con interpretaciones creíbles abarcando desde que muchos edificios sufrieran daños de grado 4, pocos de grado 5; hasta que la mayoría de los edificios sufrieran daños de grado 4, muchos de grado 5. Combinando estas dos incertidumbres se obtiene un rango aceptable de intensidad de valores de 8 a 10. (Nótese que en la escala, donde se usa “muchos de grado 5”, el término “la mayoría de grado 4” no se establece explícitamente, pero se sobreentiende y puede ser usado.)

Para Roquebillière y Belvédère, “la mitad de las viviendas fueron dañadas seriamente”. En este caso, la interpretación con respecto a la distribución de daños como “la mayoría de grado 4, muchos de grado 5” ya no es aceptable. “Muchos de grado 4, pocos de grado 5” es todavía aceptable y “muchos de grado 3, pocos de grado 4” puede ser considerada, pero no se ajusta tan bien. Con la vulnerabilidad abarcando de nuevo de A hasta B, esto da un rango de intensidad de 7 – 9, siendo el rango 8-9 el más probable.

Ejemplo 2 – A partir de datos documentales

Las siguientes dos descripciones se relacionan con los efectos del terremoto del 7 de septiembre de 1801 en Comrie, Escocia. Ambas se han tomado de periódicos contemporáneos de Edimburgo. Edimburgo era en ese tiempo el lugar más cercano en el que se publicaban

periódicos. La distancia de Comrie a Edimburgo es de unos 75 km. El terremoto ocurrió alrededor de las 6 a.m.

El siguiente relato fue escrito por un observador en Comrie el 9 de septiembre, dos días después del terremoto. Se publicó en el periódico *Edinburgh Advertiser* (15 de Septiembre, 1801, p.174):

1) “The ... shock ... was very great, and alarming beyond expression. ... Slates fell from some houses, and many loose bodies tumbled down with great precipitation. Sonorous bodies were dashed on each other, and rang loudly, such as bottles, glasses, &c. Several large stones and fragments of rocks fell down the sides of the mountains. Pieces of stone dykes fell, and one bank of earth slid from its place. If the shock had had a little more impetus, it is probable, several frail houses would have been thrown down; but, in the kindness of Providence, no farther harm hath been done than what is above stated”

El segundo relato también fue escrito en Comrie el 9 de septiembre y se publicó en el periódico *Edinburgh Evening Courant*. (14 de septiembre de 1801, p. 3):

“... the noise and shock ... were instantaneous; all those persons who were in bed were terrified that their houses were tumbling down about their ears, and many here and in the neighbourhood jumped out as quickly as possible - its duration might be about five or six seconds, and during all that time the floors, beds, and window shutters shook violently, and the roofs creaked and strained at a great rate. The horses that were grazing seemed much frightened and to listen with their ears pricked up; the cows also that were housed appeared, from their lowing, to be very uneasy, and all the dogs and other animals gave signs of fear. A shepherd, a few miles to the westward, had just separated a flock of cattle, but as soon as the earth began to tremble they all crowded together in a moment.”

Comentario

Estas dos descripciones son muy útiles y contienen más información de lo común sobre los efectos en pequeñas villas (la población era del orden de 1500 personas en el año 1801) causados por un terremoto moderado en este período.

Antes que nada se tiene que comentar algo sobre el tipo de edificios. Estos habrían sido predominantemente viviendas construidas con rocas (normalmente de un solo piso), con techos de madera cubiertos con tejas. Estas construcciones se pueden considerar como estructuras de clase vulnerabilidad B. La resistencia de estos edificios debe de haber sido buena, de no haber sufrido una falta de mantenimiento.

Una primera indicación con respecto al grado de intensidad se obtiene normalmente observando los daños. Aquí, los daños son evidentemente leves, el segundo escritor no los menciona en absoluto. El principal efecto observado es la caída de tejas de algunas viviendas. Esto corresponde técnicamente a daños de grado 3, pero debido a que no hay evidencia de otros daños típicos del grado 3 (a las chimeneas o muros), es posible que las tejas que se cayeron

estuvieran sueltas. No hay mención de grietas en el guarnecido, pero estas rara vez se mencionan porque (a) no se pueden observar desde el exterior de edificio y (b) el dueño de la vivienda puede no notarlas hasta posteriormente, especialmente si ya había otras grietas antes del terremoto. Por lo tanto, la ausencia de menciones de daño al guarnecido no es muy significativa. La ausencia de menciones de daños a las chimeneas, que son un elemento importante, es mucho más significativa, especialmente cuando el primer escritor expresa explícitamente que no hay más daños que los que él describe. El hecho de que algunas viviendas débiles no se cayeran al suelo también se menciona explícitamente.

La primera conclusión que debe deducirse de la consideración de daños es que la intensidad es al menos de 5, pero no mayor que 6. Para que la intensidad fuera 7 sería necesario que existieran más evidencias de que más viviendas resultaron dañadas, especialmente sus chimeneas. Este no es el caso. Los “diques de piedra” referidos aquí son muros de linderos. Este tipo de estructura no se considera en la escala EM como tal, pero la experiencia indica que este tipo de daño se inicia con una intensidad 5.

Considerando los efectos en la gente, los dos relatos coinciden en que la sacudida fue muy alarmante. La gente estaba explícitamente aterrorizada pensando que sus viviendas se caían. Muchas personas también saltaron fuera de la cama. No se afirma que corrieran al exterior, pero parece probable, y en este caso la descripción probablemente se ajuste más a “muchas personas se asustan y corren al exterior” correspondiente a intensidad 6. Está claro que el terremoto se sintió en el exterior (por ejemplo por un pastor) pero no se sabe cuántos lo sintieron. Los efectos sobre la población confirman el posible rango 5-6, siendo 6 el más probable.

El primer relato expone que muchos objetos se cayeron abruptamente. Esto se parece más a “los objetos pequeños normalmente estables pueden caerse” (intensidad 6), más que a “los objetos pequeños que son más pesados en su parte alta o bien objetos sostenidos deficientemente se pueden mover o caer” (intensidad 5), e incluso tiene cierta similitud con “se caen los objetos de los estantes en gran número” (intensidad 7).

El choque de botellas, la vibración de las persianas, etc., es un efecto que se inicia con intensidad 4 y continúa observándose a intensidades mayores. Aquí está claro que la fuerza del movimiento es de al menos 5.

El segundo escritor menciona los efectos sobre los animales. Las vacas en el interior estaban nerviosas (intensidad 5) pero los caballos y el ganado en el exterior también se alarmaron (intensidad 6).

Las consideraciones acumuladas en lo descrito anteriormente indican que la intensidad 6 es la mejor asignación de intensidad para el terremoto del 7 de septiembre de 1801 en Comrie. Se puede buscar alguna confirmación basada en datos sismogeológicos. El primer escritor menciona los efectos en las laderas: rocas grandes y fragmentos de rocas se deslizaron montaña abajo y un talud de arena sufrió un pequeño desplazamiento. El primer efecto parece más el

movimiento provocado en una laderas pedregosa que de un desprendimiento, pero los dos efectos empiezan en intensidad 5 y son típicos de 6 – 7 (6 – 8 en el caso de desprendimientos). El segundo efecto está asociado a intensidades 5 – 7, pero debido a que aparentemente es un caso aislado, no es un buen indicador. Estos efectos confirman los dictámenes hechos a partir del examen del resto de los datos.

Ejemplo 3 – A partir de datos de un cuestionario

Los siguientes datos se han extraído de cuestionarios sobre los efectos del terremoto de Carlisle del 26 de Diciembre de 1979 (magnitud 4.8 ML), en Carlisle al norte de Inglaterra. El cuestionario se publicó en periódicos locales, donde se invitaba a los lectores a cumplimentar el cuestionario y retornarlo. Esto implica que no se siguieron técnicas de muestreo aleatorio en la recopilación de los datos, y no se puede garantizar que los porcentajes calculados de las muestras sean indicadores fiables de la población total. El cuestionario no estaba diseñado con la escala EM-98 en mente, por lo que no todas las preguntas se relacionan con el texto de la escala. En este ejemplo se muestra que la escala funciona con datos que no son óptimos.

Para los propósitos del estudio, la ciudad de Carlisle se dividió en tres áreas. En este ejemplo se usan los datos provenientes de la parte oeste de la ciudad. El número de cuestionarios que se recibió de esta parte de la ciudad fue de 222. El tiempo en el cual ocurrió el terremoto fueron las 03h 57m; casi todos los observadores estaban en la cama. No hubo informes de gente en el exterior, porque las calles estaban desiertas a estas horas de la noche, en la mañana después del día de Navidad.

Pregunta: ¿Qué sintió?

El 87% sintió algún tipo de vibración; el 19% la describió como fuerte (aunque no se pidió específicamente que se aportara una descripción cualitativa); el 1% la describió como débil; el 11% no sintió la vibración.

Comentario: la vibración se observó de forma general y fue fuerte.

Pregunta: ¿Qué sintieron o escucharon otras personas cerca?

El 73% dijo que sus vecinos sintieron o escucharon el terremoto; el 12% dijo que no y el resto dijo que no sabía o no contestó.

Comentario: el terremoto se sintió por la mayoría de la gente en el interior.

Pregunta: ¿Se alarmó o asustó usted?

El 69% dijo que si – el 18% dijo que no. 3 personas dijeron que corrieron al exterior, pero esta información no se solicitaba explícitamente en el cuestionario, así que posiblemente más gente hiciera lo mismo.

Comentario: hasta ahora, la intensidad parece estar en el rango 5-7.

Pregunta: ¿Vibraron las puertas y ventanas?

El 54% dijo que sí, el 26% dijo que no

Pregunta: ¿Vibró algo más?

El 54 % dijo que sí, el 19% dijo que no.

Comentario: la intensidad es de al menos 4 y probablemente 5 o más, de acuerdo con esta evidencia.

Pregunta: ¿Se balancearon algunos objetos colgantes?

El 14% dijo que sí, el 26% dijo que no y el resto no tenía objetos colgantes que observar, no podía ver en la oscuridad o no respondió.

Comentario: dado que es probable que la oscilación provocada por un temblor relativamente pequeño a corta distancia (como es el caso) sea de alta frecuencia, no es de esperar que existan muchas observaciones de objetos colgantes balanceándose. En estas circunstancias, la proporción aproximada 1:2 de gente que dijo que sí frente a los que dijeron que no sugiere un temblor fuerte, de al menos intensidad 5.

Pregunta: ¿Se cayó o se movió algo?

El 18% dijo que sí; el 72% dijo que no.

Comentario: la intensidad fue al menos 5.

Pregunta: ¿Se produjeron daños?

El 13% informó de daños de algún tipo; el 85% informó de que no hubo daños. La mayoría de los daños fueron del tipo de grietas en los guarnecidos y los muros; también hubo caída de tejas y chimeneas y se desplazaron ladrillos sueltos. En un caso se informó de que se había abierto una brecha entre un garaje y la extensión de una vivienda.

Comentario: el tipo de vivienda predominante es la construcción de ladrillo. El daño se puede resumir en que unos pocos edificios de clase de vulnerabilidad B sufrieron daños de grado 1 y 2. Esto no se ajusta exactamente a las descripciones que aparecen en la escala, pero se acerca más a lo que representa el grado 6 que a cualquier otro caso.

Pregunta: ¿Tiene algunas otras observaciones?

Se recibieron varias de respuestas. Nueve personas informaron de que los muebles se desplazaron, un efecto que se menciona inicialmente en el grado 6 de la escala.

Resumen: En función de las evidencias comentadas antes, se asigna el grado 6 como el más adecuado, aunque esta asignación es límite y se podrían argumentar los casos 5 o 5-6. El grado de daño, el desplazamiento de muebles y la cantidad de gente asustada sugiere un grado 6 y el resto de los datos son al menos consistentes con dicho grado, aunque se podría esperar un mayor porcentaje de observaciones de caída de objetos.

7 Efectos en entornos naturales

Los efectos de los terremotos en el suelo, los cuales se han agrupado aquí bajo el término de “efectos sismogeológicos”, se han incluido con frecuencia en las escalas de intensidad, incluyendo la MSK, pero son difíciles de usar para obtener alguna mejora. Esto es debido a que estos efectos son complejos y se ven influenciados con frecuencia por distintos factores tales como la estabilidad inherente de una ladera, el nivel freático, etc., que pueden ser difíciles de evaluar para un observador. El resultado es que muchos de estos efectos se pueden observar a lo largo de un amplio rango de intensidades. Se considera, por lo tanto, que la evidencia no es suficiente para establecer una buena correlación entre estos efectos y los grados de intensidad particulares. En esta sección se presentan separadamente algunas posibles consideraciones generales sobre el uso limitado que se puede hacer de efectos tales como el cambio del nivel del agua en pozos, grietas en el suelo, deslizamientos o desprendimientos.

La separación de estos diagnósticos de las descripciones de intensidad en una sección aparte no se hace a la ligera, particularmente debido a que en áreas rurales o escasamente pobladas (o inhabitadas) pueden no encontrarse otros datos disponibles. El problema reside en que mientras que las variaciones en la vulnerabilidad de las estructuras hechas por el hombre se pueden presentar en una manera relativamente coherente y robusta, en el caso de los efectos en la naturaleza, muchos de estos efectos dependen de factores geomorfológicos e hidrológicos complejos que el observador no puede determinar fácilmente (o incluso en absoluto). Por ejemplo, los desprendimientos, que ocurren frecuentemente sin la presencia de sismos, pueden ser provocados fácilmente en el caso de que las rocas hayan sido erosionadas y sean altamente vulnerables, y en otros casos donde las rocas sean muy coherentes, sólo se manifiestan los derrumbes en casos de terremotos muy fuertes. Las condiciones que afectan a tales fenómenos no son necesariamente constantes para un sitio en particular; pueden depender del nivel freático, o variar con las estaciones. En cierta manera, la situación es similar a la de la vulnerabilidad de edificios – una cara rocosa es más vulnerable a “daños” en forma de desprendimientos que una coherente. El problema radica en que no hay forma de estimar la vulnerabilidad de la misma manera en la que se hace para edificios. También, en muchos casos los efectos sismogeológicos ocurren de tal manera que no se pueden cuantificar fácilmente en la misma forma en la que se hace con otras observaciones.

Se sabe con certeza que el punto hasta el que ocurren tales fenómenos para un terremoto particular puede variar espacialmente, y puede ser aparentemente útil para discriminar grados relativos de movimiento en determinadas ocasiones. Por ejemplo, se puede representar gráficamente la densidad de desprendimientos o grietas en el suelo. Sin embargo, estudios recientes sobre la distribución espacial de parámetros geotécnicos, tales como el contenido de humedad del suelo (de una importancia crítica para la determinación de la estabilidad de laderas) han demostrado que estas propiedades presentan con frecuencia un patrón fractal de agrupación. Como resultado, se ha observado que la distribución de deslizamientos generalmente se agrupa incluso cuando no ha ocurrido un terremoto y lo que se pudiera tomar erróneamente como una distribución relacionada con la intensidad no tiene nada que ver con la vibración asociada al terremoto.

Por lo tanto, como regla general los efectos en la naturaleza se deben usar con cautela y en conjunto con otros efectos. Normalmente no se deberían usar datos que consistan exclusivamente de efectos en la naturaleza para la asignación de intensidades. Tales datos sólo pueden ser usados para confirmar intensidades sugeridas en base a otros diagnósticos. Esto implica que siempre existe un problema al estimar intensidades en áreas no pobladas, y que en el mejor de los casos se puede sugerir un rango de intensidades. Esto es está lejos de ser ideal, pero es mejor admitir esta restricción que asignar intensidades que sean tan poco fiables que no sean útiles. Se debe tener cuidado con la ubicación de efectos de este tipo, ya que pueden suceder en el campo a una distancia considerable del poblado más cercano, al cual pueden ser asignados por informes imprecisos.

Para los propósitos de la escala EM-98 se presentan los efectos sismogeológicos en una tabla. Para cada efecto se usan tres tipos de símbolos, los cuales se describen a continuación:

- Líneas - muestran el posible rango de observación;
- Círculos (vacíos o llenos) - muestran el rango de intensidades típico de este efecto;
- Círculos (Llenos) - muestran el rango de intensidades para el cual es más útil usar este efecto como diagnóstico.

Las líneas terminan en flechas para mostrar la posibilidad de observaciones extremas más allá de los límites mostrados para casos excepcionales, marcos geológicos diferentes o una sensibilidad especial. Para algunos efectos no se representan las tres categorías, casos en los que se considera que no se cuenta con una experiencia adecuada para formular una opinión. Se debe recordar que para la mayoría de estos efectos, la severidad de la observación aumenta con las intensidades más altas. Así pues, para el caso “el flujo en los manantiales se ve afectado” en la intensidad 5 se puede esperar que se perciba un pequeño cambio en el flujo, mientras que a mayores intensidades el cambio puede ser mucho mayor. Se ha estimado que no sería práctico tratar de diferenciar “pequeños cambios en el flujo de manantiales” y “grandes cambios en el flujo de manantiales” dentro de la escala, debido a la dificultad de cuantificar tales expresiones.

Se debe tener especial cuidado al tratar las grietas en el suelo, para diferenciar entre observaciones geotécnicas, es decir aquellas causadas por la vibración, y las observaciones neotectónicas, es decir aquellas causadas directamente por rupturas de fallas geológicas. Esto incluye los cambios más drásticos en el terreno, debidos a fallas geológicas de mayor importancia.

Los efectos recogidos en la Tabla se agrupan en cuatro categorías: hidrológicos, inestabilidades en laderas, procesos horizontales en el suelo y procesos convergentes (casos complejos). Este último grupo incluye los casos en los que participa más de un tipo de proceso en al efecto observado. Hay que notar que los deslizamientos aparecen tanto debido a inestabilidades en las laderas como a procesos convergentes. Esto se debe a que algunos deslizamientos son el resultado directo del proceso de desplazamiento de rocas con el temblor, mientras que en otros casos ocurren cuando la inestabilidad de las laderas se combina con ciertas condiciones hidrológicas específicas. La diferenciación entre estos procesos puede no ser fácil; este es un ejemplo de los problemas que aparecen cuando se trata con este tipo de efectos.

Tabla 7-1: Relación entre efectos sismogeológicos y grados de intensidad.

| Tipo de efectos | Intensidad | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Efectos hidrológicos | | | | | | | | | | | | |
| Nivel del agua en los pozos - cambios menores ¹⁾ | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Nivel del agua en los pozos - cambios sustanciales ²⁾ | | | | | | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Olas de periodo largo en agua calma ³⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Olas en agua calma debidas a la vibración local | | | | | | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Enturbiamiento del agua de los lagos ⁴⁾ | | ← | ← | ← | ← | ← | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Flujo de agua de los manantiales afectado ⁵⁾ | | | | ← | ○ | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Aparecen nuevos manantiales o se detienen los existentes | | | | | | ← | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ |
| Agua es sacada de los lagos | | | | | | | | | | | ← | ← |
| Efectos debido a inestabilidades en las laderas | | | | | | | | | | | | |
| Movimientos en laderas pedregosas | | | | | ← | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Pequeños deslizamientos ⁶⁾ | | | | | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Desprendimientos menores ⁷⁾ | | | | | ← | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Corrimientos de tierra, desprendimientos masivos | | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Procesos en suelo plano ⁸⁾ | | | | | | | | | | | | |
| Grietas menores en el suelo | | | | | ← | ● | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Grandes fisuras en el suelo | | | | | | | | ● | ● | ● | ● | ● |
| Procesos convergentes / Casos complejos | | | | | | | | | | | | |
| Corrimientos de tierra (hidrológicos) ⁹⁾ | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Licuefacción ¹⁰⁾ | | | | | | | ← | ● | ● | ● | ● | ● |

Leyenda: ●—● rango más útil como diagnóstico de intensidades;
 ○ intensidades también típicas para cada efecto;
 — - - - - rango posible de observación
 —> observaciones extremas potencialmente posibles más allá del límite dado

Notas sobre la tabla de efectos sismogeológicos

- 1) detectados solamente mediante instrumentos automáticos
- 2) cambios fácilmente observables
- 3) resulta de terremotos distantes; posiblemente acompañado de turbidez inducida por las olas
- 4) ocasionados por agitación de los sedimentos del fondo
- 5) cambios en el flujo o el agua del nacimiento se torna turbia
- 6) en material suelto en sitios naturales (riberas de ríos, etc.) o artificiales (bordes de carreteras)
- 7) desprendimientos pequeños en sitios naturales (acantilados) o artificiales (canteras, cortes de rocas)
- 8) estas dos categorías se entremezclan la una en la otra. Se repite la advertencia de no confundir grietas en el suelo con fisuras causadas por la vibración
- 9) deslizamientos por causas predominantemente hidrológicas (pueden ser efectos retardados)
- 10) Licuación o licuefacción (por ejemplo cráteres de arena, formación de montículos, etc.)

8 Versión abreviada de la EMS-98

Esta versión corta de la Escala Macrosísmica Europea, resumida de su núcleo, tiene la intención de brindar una vista simplificada y generalizada de la escala EM. Se puede usar por ejemplo para fines educativos. *Esta versión corta no es adecuada para la asignación de intensidades.*

| INTENSIDAD EMS | Definición | TIPOS DE DAÑOS |
|----------------|--------------------------|--|
| I | No sensible | No se siente. |
| II | Sentido levemente | Sentido solamente por muy pocas personas en reposo en viviendas. |
| III | Débil | Sentido en el interior por poca gente. La gente en reposo siente una oscilación o temblor leve. |
| IV | Observado ampliamente | Sentido por muchos en el interior y por unos pocos en el exterior. Algunas pocas personas se despiertan. Las ventanas, puertas y platos vibran. |
| V | Fuerte | Sentidos por casi todos en el interior y por pocos en el exterior. Muchas personas se despiertan. Algunos se asustan. Los edificios tiemblan en su totalidad. Los objetos colgantes se balancean considerablemente. Pequeños objetos se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y se cierran. |
| VI | Causa daños leves | Mucha gente se asusta y corre al exterior. Algunos objetos caen. Muchas viviendas sufren daños leves no estructurales, como grietas muy delgadas y la caída de piezas de guarnecido. |
| VII | Causa daños | La mayoría de la gente se asusta y corre al exterior. Los muebles son desplazados y se caen muchos objetos de repisas. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados; pequeñas grietas en los muros, caída de guarnecido, se caen partes de chimeneas; los edificios antiguos pueden mostrar grandes grietas en los muros y fallas en las paredes y tabiques. |
| VIII | Causa daños severos | A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Muchas viviendas muestran grietas grandes en los muros. Unos pocos edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar. |
| IX | Destruccionivo | Pánico general. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios: fallas graves en los muros y fallas estructurales parciales. |
| X | Muy destructivo | Muchos edificios ordinarios bien contruidos colapsan. |
| XI | Devastador | La mayoría de los edificios ordinarios bien contruidos colapsan, incluso algunos con buen diseño sismorresistente son destruidos. |
| XII | Completamente devastador | Casi todos los edificios son destruidos. |

