

Estudio del valor de mercado de las pérdidas producidas en inmuebles por la ocurrencia de terremotos

Luis J. Santos Pérez

Ingeniero en Geodesia y Cartografía

Ingeniero Técnico en Topografía

Técnico Catastral

Resumen

De todos es conocido el efecto devastador de un movimiento sísmico que posea una determinada aceleración horizontal. El grado de destrucción será en función de una serie de parámetros siendo los más importantes la calidad de las construcciones, la distancia al epicentro y las aceleraciones producidas. Con este estudio se trata de cuantificar en valores económicos reales la destrucción producida en función de la tipología de la edificación, su edad y su valor de mercado basándose en su valor catastral.

PALABRAS CLAVE: *Movimiento sísmico, edificios, valoración de pérdidas, valoración de inmuebles, peligrosidad sísmica, riesgo sísmico, intensidad, aceleración del suelo, vulnerabilidad, magnitud.*

Objetivos y estructura

Comenzaremos por dar unas pinceladas describiendo los principales *parámetros que definen un movimiento sísmico* en particular aquellos que afectan a las construcciones

detallando la forma en que éstas sufren los efectos de las *aceleraciones del suelo*. Para ello se abordarán las descripciones de *frecuencias, períodos de oscilación, resonancia*, etc... Estos movimientos armónicos, dependiendo de su magnitud –que se manifiesta por su intensidad– producirán roturas, e incluso colapsos de las estructuras.

Posteriormente se describirán los *parámetros* relacionados con los terremotos que permiten cuantificar y valorar los efectos que producen en las construcciones, que son, *intensidad, magnitud* (caracterización del terremoto) y *peligrosidad, riesgo sísmico y vulnerabilidad* de aplicación directa al estudio

Se definirán los dos sistemas empleados para determinar la *peligrosidad sísmica*, que son el “*análisis determinista (ADPS)*” y el “*análisis probabilístico (APPS)*”, así como el *Periodo de Interés y Período de retorno* introduciendo un mapa de la Península Ibérica de *peligrosidad sísmica*.

Contando con el “input” de la *aceleración del suelo* obtenido de los *acelerogramas* y contando con el conocimiento de la *Intensidad del movimiento sísmico* se defi-

nirá la “Función de Pérdidas” que dependerá de la “calidad” de la construcción.

Por otro lado, y es el objetivo real del estudio, se plantea el método de *valoración de las construcciones* que utiliza el Estado Español por medio de la Dirección General del *Catastro* mediante el cual se puede conocer el valor real y actual de las pérdidas en construcciones. Para esta valoración se utilizan diferentes parámetros intrínsecos de cada inmueble como son: *Tipología, categoría, antigüedad, estado de conservación, etc...*

Por último se presenta un *ejemplo* sobre un *caso real* en el que podemos encontrar una porción de un casco urbano en zona de alta actividad sísmica con diferentes calidades constructivas. En él se verá como se relacionan BBDD (con las características que definen el edificio) y cartografía obteniendo como resultado un *importe neto de las pérdidas producidas por un sismo en función de su intensidad*.

Descripción de los parámetros que definen un movimiento sísmico

Los movimientos de las grandes masas geológicas son a escala humana muy lentos pero la masa implicada es enorme, de forma que la cantidad de energía que entra en juego es muy importante.

Un movimiento sísmico es consecuencia de la liberación repentina de energía acumulada en forma de tensiones en las masas geológicas cuando se ha visto impedido su movimiento durante un largo periodo de tiempo.

Cuando los valores de la tensión superan a los de la resistencia del medio, la energía se libera súbitamente. En el *campo de esfuerzos* creado en la zona de ruptura se pueden diferenciar dos diferentes caídas de esfuerzos, la estática y la dinámica.

La *caída de esfuerzos estática*, es función de la superficie de la zona de ruptura y del

desplazamiento producido (se puede conocer mediante métodos geodésicos). La *caída de esfuerzos dinámica* mide la velocidad de las partículas en movimiento y se obtiene a partir de registros de aceleración. En zonas de importante actividad sísmica, por tanto a distancias relativamente cortas de zonas de falla, es importante considerar la relación entre caídas de esfuerzos y *deslizamientos*, de forma que deslizamientos (detectables por técnicas geodésicas) lentos (1mm/año) implican fallas cortas y deslizamientos rápidos (100 mm/año) corresponden con fallas de gran longitud. El estudio de los desplazamientos en estos fenómenos sirve como elemento fundamental en las técnicas de predicción de terremotos.

Un parámetro de gran importancia a la hora de evaluar la Peligrosidad Sísmica –se definirá más tarde– es la *localización y reconocimiento de fallas* para lograr esto se cuenta con diferentes técnicas, que son:

- Observación de superficies de fractura e indicadores de rotura.
- Indicadores geológicos (yuxtaposición de materiales diferentes y falta o repetición de estratos). También alineación de fuentes termales o cambios de nivel freático.
- Indicadores topográficos (desviación de ríos o elevación de terrazas).
- Lineaciones observadas por teledetección y variación de distancias apreciadas por métodos geodésicos.

Un terremoto actúa de forma instantánea sobre una extensa zona y se manifiesta de diversas formas, la más importante es la relacionada con el movimiento vibratorio al que someten a los edificios las ondas generadas en el foco, las estructuras responderán a estas vibraciones de diferentes formas en función de la tipología de la misma. Los efectos indirectos son también de gran importancia, como el desplazamiento de taludes, licuefacción, pequeños movimientos diferenciales, etc...

Para intentar prevenir los efectos destructores de los terremotos, se construye de acuerdo a la *Norma Sismorresistente* que se abordará posteriormente, pero que como introducción tiene por objeto proporcionar los criterios que se han de seguir para considerar la acción sísmica en el proyecto y construcción de edificaciones y obras a los que sea aplicable por Ley (NCSE-94).

La energía liberada en el foco del terremoto se desplaza por medio de ondas que no son de tipo armónico (sinusoidales), pero por simplificación en un sólido de un grado de libertad sin amortiguamiento se pueden considerar así, de forma que un movimiento sísmico real se puede simplificar y tomarlo como la suma de un conjunto de desplazamientos teóricos actuando simultáneamente.

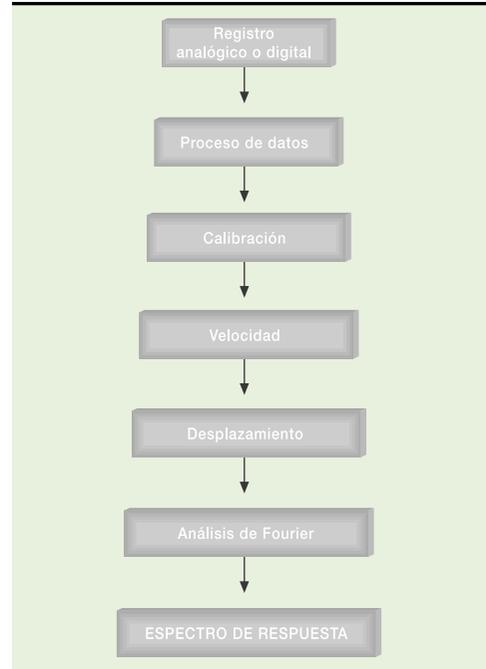
Si acercamos el zoom a este fenómeno, podemos estudiar la "perturbación en medio elástico" mediante las *Ecuaciones de Navier* que definen la condición de equilibrio en un medio homogéneo e isótropo.

Esta doble ecuación define las *ondas P* y las *ondas S* siendo estas últimas las que son necesarias considerar en el campo de las construcciones ya que son las primeras en llegar y someten a las mismas a movimientos de cizalla que son muy difíciles de soportar ya que vibran en el plano del suelo. No ocurre así con las ondas S que oscilan en planos verticales y las estructuras las soportan con dignidad hasta aceleraciones de 1g.

En cualquier caso la energía que afecta a las estructuras viene influenciada por la distancia al epicentro, las ondas P y S y el grupo de ángulos de incidencia. Es de gran importancia la existencia de factores de amplificación por combinación de ondas así como por el amortiguamiento debido a la distancia.

En cuanto a la Observación de terremotos la medida de movimientos fuertes producidos por sismos se realiza por medio de *acelerogramas*. Su obtención sigue el proceso, reflejado en la figura 1.

Figura 1
Diagrama de flujo de acelerogramas



Los instrumentos utilizados para medir la intensidad de movimientos sísmicos (sismógrafos) han de responder bien a las aceleraciones del suelo y en general a las vibraciones del terreno que se caracterizan por el desplazamiento, velocidad y aceleración de sus partículas.

Cada onda se caracteriza por ser un fenómeno repetitivo en el tiempo y en el espacio con dos parámetros principales la *amplitud* y la *frecuencia*, la amplitud es el valor máximo del desplazamiento en cada oscilación y la frecuencia es el número de oscilaciones que se producen por unidad de tiempo en un mismo lugar o por unidad de longitud en un mismo instante.

Es importante que los acelerógrafos –al fin y al cabo un sismógrafo no deja de ser un acelerógrafo– registren muy por encima de las frecuencias naturales de los edificios

y estructuras para que no funcionen en resonancia y así puedan detectar el poder destructivo individual de cada onda.

En cuanto a la respuesta de las construcciones es necesario tener en cuenta que los edificios tienen su propio *período de oscilación* ante estímulos externos como el viento o los terremotos, este es aproximadamente de 0.1 s. por cada piso de altura, de forma que una torre de 20 pisos tendría un período de 2 s. Por tanto el acelerógrafo que se utilice para estos temas ha de tener un período muy superior al de los edificios a los que ha de aplicarse.

Los períodos de las ondas que han recorrido grandes distancias suelen ser muy grandes de forma que los edificios altos se verían afectados por ellas más que por ondas producidas por terremotos cercanos que afectarían a las construcciones bajas. Por otro lado la amplitud de las ondas se amortigua con la distancia.

Caracterización de terremotos

Entendemos por *caracterización* de terremotos el estudio de cada uno de los sistemas que sirven para clasificar, cuantificar y definir un movimiento sísmico en función de la energía liberada, el grado de destrucción que presenta u otras variables (*Julio Mezcuca "El riesgo sísmico en España"*).

Los parámetros más importantes son:

Intensidad Sísmica

Pretende ser una descripción *cualitativa* de los efectos del terremoto, siendo una medida subjetiva más apta para ser empleada como parámetro ingenieril. Es la fuerza con que se siente el sismo en un punto determinado de la superficie terrestre y se mide por sus efectos destructivos en terreno y edificios. Es el único parámetro sismológico preinstrumental con origen en principios del siglo XX.

Las escalas macrosísmicas más utilizadas y sus graduaciones son:

- Rossi-Forel (I-X) (1883).
- Mercalli modificada (I-XII) (1902).
- Japanese Metereological Agency (I-VII).

El sistema utilizado para la medida de la Intensidad es el de repartir encuestas a la población de la zona en la que se ha producido el temblor. Se incide en cuestiones como el balanceo de objetos colgados, vibración de cristales, rotura de vajillas, miedo y pánico y así sucesivamente en función directa de los destrozos. Esto permite que cualquier persona pueda "caracterizar" el terremoto y aplicar en función de ello parámetros estadísticos.

Los números romanos se utilizan para impedir hacer operaciones aritmética con ellos ya que el fenómeno que mide no es "proporcional" ni "lineal". La intensidad es mayor en terrenos sedimentarios de forma que es diez veces mayor en ellos que en roca volcánica y mucho mayor que en granito. Tan es así que el famoso terremoto de Ciudad de Méjico fue destructivo especialmente en edificios altos ya que se produjo lejos (períodos grandes) y además la ciudad está situada en terreno sedimentario (antigua laguna).

Magnitud Sísmica

Es la medida *cuantitativa* del tamaño de un sismo. Mide la energía liberada en su foco. Se basa en dos hipótesis, la primera es que para una geometría constituida por fuente-receptor y dos sismos de diferente tamaño, el mayor produce amplitudes mayores y la segunda es que la amplitud sigue un patrón conocido de forma que es función de la atenuación geométrica y anelástica del medio. Hemos de tener en cuenta que en casi todas las fórmulas entra un logaritmo de la amplitud (A), esto quiere decir que pequeñas diferencias de magnitud implican grandes diferencias de amplitud, es decir de energía liberada. La escala más utilizada para su medida es la de *Richter (1932)*.

La calibración de la escala se hizo tomando $M=3$ para aquel terremoto que a 100 km. de distancia, se registra con $A=1\text{mm}$.

La magnitud presenta ventajas claras ya que por ejemplo es comparable en diversos sismos para apreciar sus tamaños, refleja las características de la falla productora y por tanto caracteriza muy bien cada terremoto.

A modo de ejemplo comparativo entre magnitud e intensidad, podemos decir que un movimiento sísmico de magnitud 8 (Richter), libera una energía en su foco de 10^{18} julios (una explosión nuclear de 10 kilotonnes libera 10^{12} julios).

Otros parámetros sísmicos a definir son Peligrosidad, Riesgo sísmico y vulnerabilidad.

Peligrosidad Sísmica

Se define como la probabilidad de ocurrencia en un cierto emplazamiento e intervalo de tiempo de un movimiento del suelo potencialmente destructor. Sus efectos se miden en forma de intensidad sísmica que afecta a un territorio.

Riesgo Sísmico

“Cuantifica” la probabilidad de que un terremoto produzca daños, dependerá por tanto de cuales sean los elementos introducidos por el hombre en ese territorio traducido en el *coste económico* que una destrucción ocasionaría.

Por tanto en un desierto de una zona de alta actividad sísmica, la peligrosidad sería muy alta y el riesgo casi nulo; en una ciudad de la misma zona, tanto la peligrosidad como el riesgo serían altísimos.

En el presente estudio pretendemos, por tanto, obtener la peligrosidad sísmica en una zona muy concreta de un casco urbano, es decir, conocer –en moneda de hoy día– el coste que ocasionaría un terremoto en la zona debido a los daños en las construcciones.

Vulnerabilidad

Se puede definir como la medida de la susceptibilidad o predisposición intrínseca de los elementos expuestos a una amenaza a sufrir daño o una pérdida, depende del tipo de construcción y se expresa en términos de daños o pérdidas potenciales esperadas según la magnitud del evento a que se expone.

La vulnerabilidad y el riesgo sísmico están relacionadas por la peligrosidad sísmica según la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo sísmico} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{coste económico}$$

La importancia de estimar el grado de vulnerabilidad de una estructura está en poder hallar el riesgo para cuantificar la necesidad de reforzar o reconstruir una edificación para que ante la existencia de un sismo sea capaz de resistir los esfuerzos a los que será sometida.

Métodos para determinación de la Peligrosidad sísmica

Una vez definidos los anteriores parámetros pasamos a describir como intenta la sismología dar solución al problema de la peligrosidad y su cuantificación. Se han empleado dos diferentes enfoques para la solución del problema, uno más antiguo (determinista) y otro actual (estocástico o probabilístico).

Método determinista (ADPS)

Utiliza valores aislados o modelos que expliquen la peligrosidad. Requiere el conocimiento de tres cuestiones primordiales, la fuente sísmica (falla), terremoto de control de tamaño determinado (magnitud) y aceleración máxima a determinada distancia del emplazamiento. Se ha usado este sistema para los estudios de emplazamientos de

centrales nucleares en todo el mundo. El problema es que los resultados producidos por diferentes estudios para el mismo emplazamiento daban diferencias de factor dos, lo que implica una gran inexactitud.

Por tanto ésto se podría solucionar utilizando un análisis probabilístico de forma que use modelos multivaluados, no valores discretos univaluados, por tanto la peligrosidad se podría expresar como promedio de ocurrencia esperada de un tipo de evento.

Método estocástico. Análisis probabilístico de la peligrosidad sísmica (APPS)

Introduce conceptos probabilísticos para expresar el tamaño, localización, recurrencia y movimiento del suelo así como su incertidumbre. Igual que el sistema anterior se da en varios pasos:

- Cálculo de la peligrosidad sísmica.- Se puede expresar como la esperanza media

de ocurrencia de un determinado sismo. Se especifica la distribución de probabilidad para cada fuente sísmica, de forma que se asigna a cada falla una distribución de probabilidad y se calculan las distancias al emplazamiento.

- Obtención de la relación de recurrencia, no sólo aplicado al terremoto máximo sino a todos, mediante relaciones predictivas de tipo logarítmico.
- A partir de las anteriores relaciones se obtienen para cada zona y para cada punto los valores del parámetro que representa el movimiento del suelo para todos los tamaños de terremoto posibles.
- Mediante combinación de incertidumbres, se determina la peligrosidad por medio de la suma de los efectos de todos los terremotos de diferentes tamaños, que ocurriendo en diferentes zonas sismogénicas y con diferentes probabilidades de ocurrencia, proporcionan la probabilidad de excedencia en un emplazamiento de cada nivel de movimientos del suelo en un determinado período de tiempo.

Gráfico 1
Período de retorno / probabilidades excedencia según método estocástico

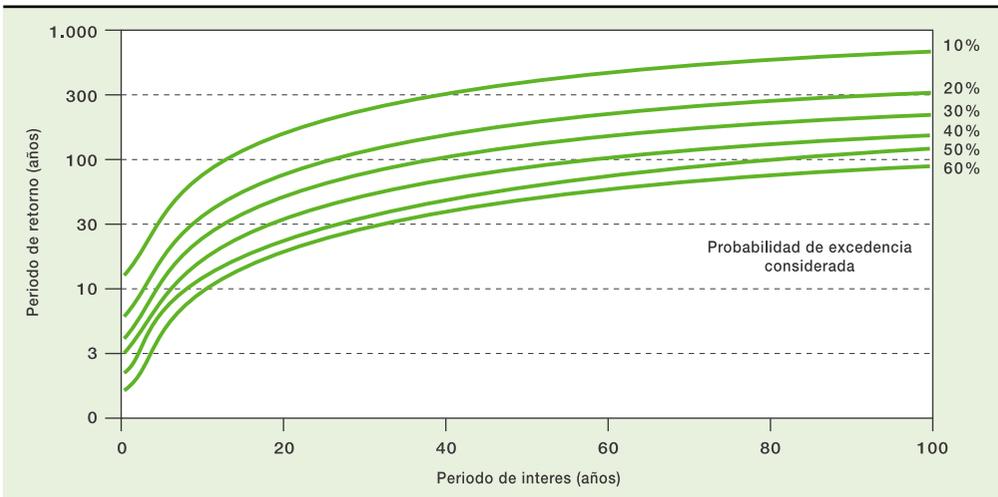


Gráfico 2
 Mapa sísmico de la norma sismorresistente



Para captar el verdadero significado e interpretación de esta última operación, se puede expresar como que la probabilidad de excedencia $E(z)$ es la doble integral de una función de probabilidad $P(Z > z/m, r)$ que sería la probabilidad de que un cierto movimiento sísmico de magnitud m y distancia epicentral r , exceda un movimiento del suelo de valor z , siendo la función $P(z)$ la correspondiente a un modelo de Poisson.

Esto quiere decir que cada movimiento sísmico es independiente del anterior. Por tanto al no existir ninguna ocurrencia con preferencia en algún año, se denomina *periodo de retorno* en años, de un evento

que exceda un determinado nivel de movimiento del suelo al recíproco de su probabilidad anual de excedencia, por tanto:

$$\text{Período de retorno} = -T/\ln(1 - P(Z > z))$$

En el gráfico 1 se representa la Peligrosidad Sísmica relacionando Período de Retorno, Período de Interés y probabilidad de superación esperada, calculada usando método probabilista.

Para ilustrar la distribución de la peligrosidad sísmica en la Península Ibérica podemos observar el mapa que aparece en el gráfico 2. Para su realización (Red Sísmica (I.G.N.) 2001) se han empleado

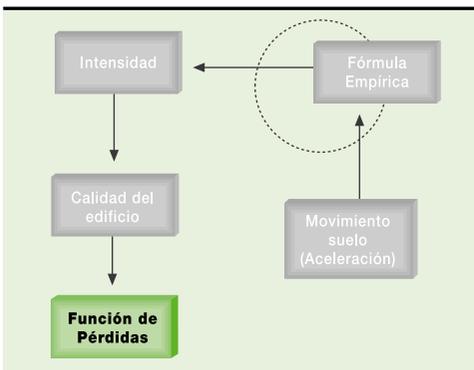
datos de aceleraciones (estimadas y medidas), correspondientes al periodo 1300-2000, unidos a estudios probabilísticos de actividad sísmica para cada zona, junto con las curvas de atenuación de dicha actividad con la distancia. Por tanto se representan valores de aceleración para la norma sismorresistente NCSR-2002

Relación entre movimiento del suelo / tipo de edificación /destrucción: “Función de pérdidas”

El objetivo fundamental del estudio que nos ocupa es obtener el valor real y actual de las pérdidas que un movimiento sísmico provocaría en las edificaciones de una zona sísmicamente activa.

Debemos recordar que el riesgo sísmico es la expresión de la peligrosidad en términos de pérdidas ocasionadas por las acciones sobre las construcciones. Es el paso del movimiento del suelo a pérdidas económicas y para eso se utiliza la función de pérdidas como se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2
Función de pérdidas



En el caso que nos ocupa, pretendemos estudiar el Análisis Probabilístico de Peligrosidad Sísmica (APPS) para un determinado emplazamiento. Por tanto pasamos los valores de intensidad registrados históricamente a valores de aceleración mediante la siguiente fórmula empírica:

$$\text{Log } a = 0.3010 * I - 0.2321$$

El resultado viene expresado en gals (10^{-2} m/s^2) según PDS-1, de forma que al dar valores a la intensidad (M.S.K.) se obtienen las siguientes aceleraciones (ver cuadro 1).

Cuadro 1
Equivalencia intensidad - aceleración (gals)

| Intensidad | Aceleración (gals) |
|------------|--------------------|
| 5 | 18,745 |
| 6 | 37,488 |
| 7 | 74,972 |
| 8 | 149,933 |
| 9 | 299,847 |

Si además añadimos los valores de un parámetro K (coeficiente de contribución) que introduce la influencia de los terremotos en la zona de Azores, de gran importancia porque al estar en la zona marítima del suroeste de la península afectarían a las edificaciones altas (periodos grandes de oscilación), existiría la posibilidad de obtener el mapa oficial de peligrosidad sísmica de la Norma Sismorresistente representado en el anterior mapa sísmico peninsular de la norma.

Es necesario aclarar que el “input” para los cálculos de periodos de retorno y función de pérdidas es la *aceleración básica en % g* de forma que según aparece publicado en RD:

$$0,25 = ab/g \text{ de donde } ab = 0.25 * 980 \text{ por tanto } ab = 245 \text{ gals}$$

Lo anterior representa el 25% g. Con este valor se calculan estructuras aplicando la norma sismorresistente.

La forma de trabajar, sería realizar un APPS de nuestro emplazamiento, si los resultados los obtenemos en forma de intensidad los convertimos a aceleración para entrar con él en el anterior mapa y establecer la función de pérdidas para esa zona.

Efectos sobre las construcciones

La energía se propaga, atenuándose la onda a medida que se aleja del lugar en el que se ha originado el sismo (hipocentro). En terrenos duros (roca) la onda apenas se amortigua; en terrenos blandos (arcillas), se amortiguan, sobre todo los armónicos de alta frecuencia, por lo que el sismo pasa a tener períodos mayores, en general más peligrosos para las edificaciones esbeltas.

El terremoto se siente como oscilaciones bruscas del terreno, que se transmiten a los edificios.

Normalmente, en un edificio, existen cargas, o acciones, que se equilibran con las reacciones en el suelo. En el caso del sismo este equilibrio no es posible, pues es el suelo el que se mueve, y, el inmueble no puede, por lo general, equilibrarse con reacciones exteriores, por lo que, deberá oscilar y disipar la energía que reciba sin romperse.

La acción sísmica es un problema dinámico, pues el sismo le impone al edificio movimientos (aceleraciones). Las aceleraciones verticales son las menos problemáticas, pues el edificio ha sido concebido para soportar la acción vertical del peso, y aguantará un esfuerzo adicional en esta dirección, ya que en el diseño se admite la posibilidad de existencia de sobrecargas, que se tienen en cuenta utilizando los coeficientes de seguridad adecuados.

El problema aparece cuando los elementos diseñados para resistir esfuerzos verticales se ven sometidos a esfuerzos oblicuos, que son el resultado del peso vertical, y una oscilación horizontal, entonces el edificio se deforma lateralmente.

El inmueble tiende a recuperar su forma, como consecuencia de la elasticidad de los materiales. Las perturbaciones en el medio varían en dirección y sentido, por lo que las construcciones empiezan a oscilar alrededor de su posición de equilibrio.

Un bloque, teórico, completamente rígido, se movería de forma sincronizada con el estímulo. En la realidad el edificio oscila, deformándose a partir de su posición inicial. Si se sobrepasa el límite elástico de alguno de los materiales, puede entrar en régimen plástico, y deformarse sin tender a recuperar su forma, o si éste responde frágilmente, romperse. Desde este punto de vista, los materiales de construcción más seguros, sísmicamente hablando, son los elásticos, y coherentes, como por ejemplo la madera y el hormigón armado.

Fenómeno de resonancia

Las aceleraciones a que se ven sometidas las distintas partes, dependen, entre otras, de las características de la onda sísmica, y de las frecuencias naturales de oscilación del edificio.

Cuando el sismo posee un armónico de amplitud considerable que coincide con una frecuencia de oscilación natural de edificio (o período fundamental), éste entra en resonancia, y la aceleración crece en cada periodo, por lo que irremediamente será destruido, a menos que el sismo cese rápidamente, o que la ruptura de algunas de las partes del edificio varíen su frecuencia natural de oscilación, o que el rozamiento interno de los materiales sea suficiente como para disipar la energía.

En edificios de pisos, el período fundamental depende en gran manera del número de plantas, y en cada caso existen fórmulas, más o menos empíricas, que permiten conocer aproximadamente este valor para cada inmueble.

Se puede estudiar teóricamente la respuesta de un edificio ante un sismo, a par-

tir de un acelerograma. La construcción resistirá si todas sus partes consiguen responder a los movimientos coherentemente, ya sea trasladándose juntas, o girando alrededor de los mismos ejes en cada instante. Para ésto se supone que los distintos nudos no pueden variar su distancia, pues los elementos que forman la estructura no pueden ni alargarse ni acortarse.

Un edificio se diseña teniendo en cuenta unos coeficientes de seguridad que asegurarán su funcionamiento en las peores condiciones, por lo que, las construcciones actuales suelen ser bastante resistentes a los terremotos, de esta forma, se dice que un edificio bien hecho, ya es de por sí antisísmico, sin tomar ninguna medida adicional, aunque, en lugares de elevada sismicidad, se toman este tipo de medidas. En zonas no sísmicas se supone que un edificio diseñado "para viento", soportaría terremotos moderados.

Cuando se quiere que una construcción resista casi cualquier seísmo, se diseña especialmente para ello. Por ejemplo es necesario que los hospitales sigan en pie después de un terremoto.

Suele dar la impresión de que los edificios altos, sobre todo si son de similar construcción van a sucumbir antes en un seísmo. Sin embargo ésto depende de los armónicos de resonancia del seísmo y del edificio, por lo que en general puede ser bastante arbitrario.

Tipos de roturas en los edificios

Los edificios están diseñados para que todos sus elementos soporten en conjunto las acciones a las que se ven sometidos. Por lo que, generalmente, cualquier rotura acrecienta de forma imparable los daños, así una primera regla sería que sísmicamente una construcción resiste lo que resiste el elemento estructural que primero se rompa.

Ante un seísmo, la construcción tiene que trasladarse en horizontal, moviéndose

sus plantas bajas unidas al suelo, siendo sus plantas altas arrastradas por aquellas. Se ha observado que algunas veces el inmueble ha volcado sobre uno de sus lados.

A veces algunas construcciones han girado, en algún instante, alrededor de un eje. El desplazamiento de cada parte del edificio es mayor cuanto más alejado se encuentre esta del eje. Si girase, por ejemplo, alrededor de un eje aproximadamente vertical, las paredes más alejadas del eje, posiblemente las exteriores, sufren grandes desplazamientos, rompiéndose, y quedando éste como una naranja pelada.

En general, la respuesta de un edificio es diferente a la de otro, por lo que si dos están en contacto, al llegar el seísmo oscilan de forma diferente golpeando el uno contra el otro, machacándose ambos.

Sería pues recomendable que hubiese entre los dos una separación, o junta que permitiera la oscilación sin choque; esta debería ser al menos la suma de las amplitudes de oscilación de cada uno de ellos.

Algunas veces, el exceso de carga vertical puede hacer que se sobrepase la resistencia a compresión de un pilar, y éste quede en parte machacado. Si el seísmo continúa, los pilares adyacentes deben soportar la carga que le correspondería a éste, y el fenómeno puede irse propagando. Si se rompen los pilares, las diferentes plantas del edificio pueden colapsarse, derrumbándose unas sobre otras sobre la misma vertical (ver ilustración inferior).



Si aparece una grieta, ésta se cierra y se abre repetidamente, produciéndose choques entre sus dos caras cada vez que se cierra, estos choques machacan fácilmente cualquier material. Los techos, sobre todo los que abarcan grandes áreas pueden desplomarse por su parte central.

Si el edificio es grande, puede que una parte sufra un desplazamiento, y otra no, de esta forma la parte intermedia se verá retorcida. Fenómenos parecidos pueden ocurrir cuando el inmueble es poco homogéneo, ya sea en materiales o en forma, en cuyo caso se comporta como varios bloques independientes.

Otras veces el edificio o parte de él puede volcar, si éste forma un bloque suficientemente rígido.

Antecedentes

Hasta ahora todos los análisis sobre riesgo sísmico realizados en España lo ha sido sobre zonas muy concretas Murcia, Lorca y Barcelona. Esto puede ser debido a que las administraciones no sienten cercano el peligro de actividad sísmica y por tanto no invierten en este problema, sobre todo teniendo en cuenta que el último seísmo que se puede considerar catastrófico ocurrió en España en 1884. En el panorama internacional, existen algunos programas basados en SIG, siendo el más elaborado el HAZUS 99, elaborado por el Program Nacional de Reducción de Riesgo Sísmico (E.E.U.U.) (*Barranco-Pascual 2001*).

Con posterioridad al desarrollo de este estudio, la Dirección General de Protección Civil desarrolló el Programa SES 2002, basado en estudio de la intensidad y sus efectos en las construcciones de diferentes tipologías utilizando Matrices de Vulnerabilidad de viviendas obtenidas estadísticamente por un examen de destrucción en el terremoto de Irpina (Italia) (*Chávez, 1998*).

Sistemas de valoración de inmuebles

Tras la ocurrencia de un movimiento sísmico la primera tarea es hacer recuento de las vidas humanas que se han perdido a la vez que se intenta rescatar a las que pueden estar aprisionadas entre las ruinas. Pero en segundo orden de importancia está el conocer las pérdidas producidas por la destrucción de edificios e infraestructuras. El objeto de este estudio es proponer un método para valorar las pérdidas producidas en los inmuebles por destrucción total o parcial de los mismos.

Para ello nos vamos a basar en las *normas técnicas de valoración catastral de inmuebles* para el Estado Español (RD 1020/1993). En ellas se definen las técnicas precisas que se usan para conocer el valor catastral y de mercado de los bienes inmuebles con diversos fines, el primero de ellos es acometer las revisiones catastrales que permitirán pasar al cobro el Impuesto de Bienes Inmuebles por parte de los Ayuntamientos, el segundo y también importante, conocer a modo de inventario la riqueza inmueble de todo el Estado.

A modo de información y para hacernos idea del orden de magnitud de las cifras totales, el Catastro Inmobiliario Urbano comprende en 2.001 un total de 27.289.000 unidades urbanas, valoradas en 795.000 millones de euros, lo que supone un valor catastral medio 30.000 € medio por unidad urbana. No consideramos aquí el valor de mercado, si fuera así podríamos decir que el valor catastral estaría, de forma global entre el 20% y el 40% del valor de mercado.

En el ejemplo que se presenta en este estudio contamos con una porción de núcleo urbano situado en una zona con actividad sísmica elegida de forma que contenga edificaciones de diferente tipología para aplicar el proceso valorativo.

Parámetros a considerar en la valoración de inmuebles

Tipología constructiva

Con este parámetro, el primero en importancia, se definen las características del inmueble dentro de una clasificación general. Los tres ítems que lo conforma son: Uso, Clase y Modalidad. Con esta clasificación exhaustiva se cubren todos los posibles bienes inmuebles que pueden existir en nuestros núcleos urbanos. La tabla se completa con la especificación de la categoría de cada tipología (ver cuadro 2).

Categoría

Representa, en nueve diferentes niveles (1-9), la calidad constructiva de mayor (1) a menor (9), de forma que un determinado inmueble queda tipificado mediante los tres dígitos de la Tipología constructiva y el correspondiente a la Categoría (3.2.2 sería un edificio de oficinas unido a industria y un 2 posterior definiría una alta calidad constructiva).

De esta tabla de doble entrada (Tipología-Categoría) se obtiene un determinado coeficiente (tipificación (ct)). Dichos coeficientes varían de 0.01 a 3.00 y reflejan la

Cuadro 2
Coeficientes del valor de las construcciones

| Tipologías constructivas | | | |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Uso | Clase | Modalidad | |
| Residencial | 1.1 Viviendas colectivas de carácter urbano | 1.1.1 Edificación abierta | |
| | | 1.1.2 En Manzana cerrada | |
| | | 1.1.3 Garajes, trasteros y locales en estructura | |
| | 1.2 Viv. unifamiliares de carácter urbano | 1.2.1 Edificación aislada o pareada | |
| | | 1.2.2 En línea o manzana cerrada | |
| | | 1.2.3 Garajes y porches en planta baja | |
| | 1.3 Edificación rural | 1.3.1 Uso exclusivo de vivienda | |
| | | 1.3.2 Anexos | |
| | Industrial | 2.1 Naves de fabricación y almacenamiento | 2.1.1 Fabricación en una planta |
| 2.1.2 Fabricación en varias plantas | | | |
| 2.1.3 Almacenamiento | | | |
| 2.2 Garajes y aparcamientos | | 2.2.1 Garajes | |
| | | 2.2.2 Aparcamientos | |
| 2.3 Servicios de transporte | | 2.3.1 Estaciones de servicio | |
| | | 2.3.2 Estaciones | |
| Oficinas | | 3.1 Edificio exclusivo | 3.1.1 Oficinas múltiples |
| | | | 3.1.2 Oficinas unitarias |
| | 3.2 Edificio mixto | 3.2.1 Unido a viviendas | |
| | | 3.2.2 Unido a industria | |
| | 3.3 Banca y seguros | 3.3.1 En edificio exclusivo | |
| | | 3.3.2 En edificio mixto | |
| | Comercial | 4.1 Comercios en edificio mixto | 4.1.1 Locales comerciales y talleres |
| | | | 4.1.2 Galerías comerciales |
| | | 4.2 Comercios en edificio exclusivo | 4.2.1 En una planta |
| 4.2.2 En varias plantas | | | |
| 4.3 Mercados y supermercados | | 4.3.1 Mercados | |
| | | 4.3.2 Hipermercados y supermercados | |

“calidad” de la edificación tomando como referencia los estándares de calidad de las VPO (Viviendas de Protección Oficial) que se asemejan a “Viviendas urbanas colectivas en manzana cerrada de categoría 4” y tendrían coeficiente de tipificación (ct) = 1.

Por otro lado la realización de valoraciones masivas precisa un procedimiento que facilite los trabajos de forma mecánica e informatizable. En este sentido se definirán unas áreas económicas homogéneas del suelo y de las construcciones. Pueden ser núcleos urbanos homogéneos si sus tamaños y características lo permiten o diferentes polígonos dentro de un núcleo mayor.

A estas áreas se les asignará un Módulo Básico de Construcción (MBC), junto con unos coeficientes para cada uso en función de estudios de mercado inmobiliario previos. Dichos módulos varían desde unas $MBC1 = 46.800 \text{ pta/m}^2$ a un $MBC7 = 28.800 \text{ pta/m}^2$ (1).

(1) Es necesario aclarar que la valoración catastral completa comprende valor de suelo y valor de construcción, en el caso que nos ocupa prescindiremos del valor del suelo que suponemos no va a destruirse, tras el movimiento sísmico seguirá existiendo.

Cuadro 2
Coeficientes del valor de las construcciones Continuación

| Categoría | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1,65 | 1,40 | 1,20 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,55 |
| 1,60 | 1,35 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| 0,80 | 0,70 | 0,62 | 0,53 | 0,46 | 0,40 | 0,30 | 0,26 | 0,20 |
| 2,15 | 1,80 | 1,45 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| 2,00 | 1,65 | 1,35 | 1,15 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 | 0,65 |
| 0,90 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0,40 |
| 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| 1,05 | 0,90 | 0,75 | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,37 | 0,35 |
| 1,15 | 1,00 | 0,85 | 0,70 | 0,60 | 0,55 | 0,52 | 0,50 | 0,40 |
| 0,85 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| 1,15 | 1,00 | 0,85 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,20 |
| 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,05 |
| 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,25 | 1,20 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 2,55 | 2,25 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 |
| 2,35 | 2,00 | 1,70 | 1,50 | 1,30 | 1,15 | 1,11 | 0,90 | 0,80 |
| 2,55 | 2,20 | 1,85 | 1,60 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 |
| 2,05 | 1,80 | 1,50 | 1,30 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,85 | 0,65 | 0,55 | 0,45 | 0,35 |
| 2,95 | 2,65 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 |
| 2,65 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 1,95 | 1,60 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 | 0,65 |
| 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| 2,50 | 2,15 | 1,85 | 1,60 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,85 |
| 2,75 | 2,35 | 2,00 | 1,75 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,90 |
| 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |

Cuadro 2
Coeficientes del valor de las construcciones

Continuación

| Tipologías constructivas | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Uso | Clase | Modalidad |
| Deportes | 5.1 Cubiertos | 5.1.1 Deportes varios |
| | | 5.1.2 Piscinas |
| | 5.2 Descubiertos | 5.2.1 Deportes Varios |
| | | 5.2.2 Piscinas |
| 5.3 Auxiliares | 5.3.1 Vestuarios, depuradoras, calefacción, etc. | |
| 5.4 Espectáculos deportivos | 5.4.1 Estadios, plazas de toros | |
| | 5.4.2 Hipódromos, canódromos, velódromos, etc. | |
| Espectáculos | 6.1 Varios | 6.1.1 Cubiertos |
| | | 6.1.2 Descubiertos |
| | 6.2 Bares musicales, salas de fiestas, discotecas | 6.2.1 En edificio exclusivo |
| 6.2.2 Unido a otros usos | | |
| 6.3 Cines y teatros | 6.3.1 Cines | |
| | 6.3.2 Teatros | |
| Ocio y hostelería | 7.1 Con residencia | 7.1.1 Hoteles, hostales, moteles |
| | | 7.1.2 Aparthoteles, bungalows |
| | 7.2 Sin residencia | 7.2.1 Restaurantes |
| 7.2.2 Bares y cafeterías | | |
| 7.3 Exposiciones y reuniones | 7.3.1 Casinos y clubs sociales | |
| | 7.3.2 Exposiciones y congresos | |
| Sanidad y beneficencia | 8.1 Sanitarios con camas | 8.1.1 Sanatorios y clínicas |
| | | 8.1.2 Hospitales |
| | 8.2 Sanitarios varios | 8.2.1 Ambulatorios y consultorios |
| 8.2.2 Balnearios, casas de baños | | |
| 8.3 Beneficios y asistencia | 8.3.1 Con residencia (Asilos, Residencias, etc.) | |
| | 8.3.2 Sin residencia (Comedores, Clubs, Guarderías, etc.) | |
| Culturales y religiosos | 9.1 Culturales con residencia | 9.1.1 Internados |
| | | 9.1.2 Colegios mayores |
| | 9.2 Culturales sin residencia | 9.2.1 Facultades, colegios, escuelas |
| 9.2.2 Bibliotecas y museos | | |
| 9.3 Religiosos | 9.3.1 Conventos y centros parroquiales | |
| | 9.3.2 Iglesias y capillas | |
| Edificios singulares | 10.1 Histórico-artístico | 10.1.1 Monumentales |
| | | 10.1.2 Ambientales o típicos |
| | 10.2 De carácter oficial | 10.2.1 Administrativos |
| 10.2.2 Representativos | | |
| 10.3 De carácter especial | 10.3.1 Penitenciarios, militares y varios | |
| | 10.3.2 Obras urbanización interior | |
| | 10.3.3 Campings | |
| | 10.3.4 Campos de golf | |
| | 10.3.5 Jardinería | |
| | 10.3.6 Silos y depósitos para sólidos (M/3) | |
| | 10.3.7 Depósitos líquidos (M/3) | |
| | 10.3.8 Depósitos gases (M/3) | |

Cuadro 2
Coeficientes del valor de las construcciones

Continuación

| Categoría | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,30 | 1,10 | 0,90 | 0,70 | 0,50 |
| 2,30 | 2,05 | 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 |
| 0,70 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,35 | 0,25 | 0,20 | 0,10 | 0,05 |
| 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 |
| 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| 2,40 | 2,15 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 |
| 2,20 | 1,95 | 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 |
| 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,75 |
| 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| 2,65 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 2,20 | 1,95 | 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 |
| 2,55 | 2,30 | 2,05 | 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 |
| 2,70 | 2,40 | 2,15 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 2,65 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 2,85 | 2,55 | 2,30 | 2,05 | 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,30 | 1,15 |
| 2,60 | 2,35 | 2,00 | 1,75 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 |
| 2,35 | 2,00 | 1,70 | 1,50 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 2,60 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 2,50 | 2,25 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,25 | 1,10 | 1,00 |
| 3,15 | 2,80 | 2,50 | 2,25 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,45 | 1,30 |
| 3,05 | 2,70 | 2,40 | 2,15 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 |
| 2,40 | 2,15 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 |
| 2,65 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 2,45 | 2,20 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 |
| 1,95 | 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 2,40 | 2,15 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 |
| 2,60 | 2,35 | 2,10 | 1,90 | 1,70 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 |
| 1,95 | 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 2,30 | 2,05 | 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 |
| 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| 2,90 | 2,60 | 2,30 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,20 | 1,05 |
| 2,90 | 2,60 | 2,30 | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | 1,20 | 1,05 |
| 2,30 | 2,05 | 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 |
| 2,55 | 2,20 | 1,85 | 1,60 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
| 2,75 | 2,35 | 2,00 | 1,75 | 1,50 | 1,35 | 1,20 | 1,05 | 0,95 |
| 2,20 | 1,95 | 1,75 | 1,55 | 1,40 | 1,25 | 1,10 | 1,00 | 0,85 |
| 0,26 | 0,22 | 0,18 | 0,15 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,03 |
| 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |
| 0,05 | 0,04 | 0,035 | 0,03 | 0,025 | 0,02 | 0,015 | 0,01 | 0,005 |
| 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,01 |
| 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,10 |
| 0,37 | 0,34 | 0,31 | 0,29 | 0,25 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,15 |
| 0,80 | 0,65 | 0,50 | 0,40 | 0,37 | 0,35 | 0,31 | 0,27 | 0,25 |

La primera operación para obtener la valoración de un inmueble sería multiplicar el “*ct*” obtenido por el MBC correspondiente al municipio o zona de estudio. El valor así obtenido se referirá a m² construído y se denominará *valor tipo*, al que será necesario aplicarle los siguientes *coeficientes correctores*:

Antigüedad de construcción

El valor tipo asignado se corregirá aplicando un coeficiente que pondere la antigüedad de la construcción, teniendo en cuenta el uso predominante del edificio y la calidad constructiva según la siguiente función $H = H$ (uso edificio, calidad constructiva, años de construcción), obteniendo un coeficiente según tablas que oscila de 0,17 a 1,00 según tenga el inmueble 90 ó más años o sea de reciente construcción.

El período de antigüedad se expresará en años completos transcurridos desde la fecha de su construcción, reconstrucción o rehabilitación.

Estado de conservación

Se clasifica en los siguientes niveles con sus correspondientes coeficientes correctores:

Normal.– Construcciones que, a pesar de su edad no necesitan reparaciones importantes (1,00).

Regular.– Construcciones que presentan defectos permanentes isn comprometer las condiciones de habitabilidad (0,85)

Deficiente.– Construcciones que precisan reparaciones de importancia comprometiando la habitabilidad (0,50)

Ruinosa.– Construcciones inhabitables o en ruina (0)

Hasta aquí los principales parámetros de valoración, existen otros de menor importancia que no se tendrán en cuenta debido a

que afectan simultáneamente al suelo y a las construcciones como son: Depreciación funcional o inadecuación, viviendas y locales interiores, fincas afectadas por cargas singulares, fincas afectadas por situaciones especiales de carácter extrínseco y apreciación y depreciación económica.

Para la obtención del valor final de las construcciones se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Valor Construcción} = [\text{MBC} * \text{ct} * (\text{Antigüedad} * \text{Est. Conservación})] * [\text{superficie (m}^2\text{)}]$$

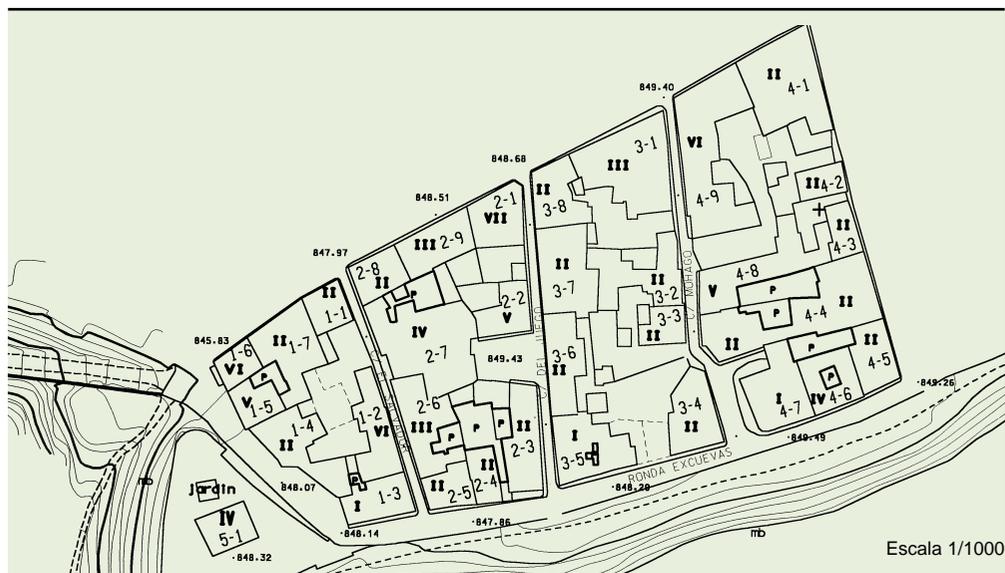
Ejemplo de valoración sobre casco urbano real

La zona objeto de estudio se representa por una porción de casco urbano (varias manzanas) que va a servir de experimentación a la hora de valorar los efectos destructivos de un seísmo sobre las construcciones. En el gráfico 3 podemos apreciar en la cartografía catastral urbana escala 1:1.000 la configuración del núcleo urbano, en cuanto a la distribución de edificaciones, tipo de calles, etc... Cada subparcela (edificio) posee una referencia catastral con la que conectarse con la Base de Datos utilizada en la valoración.

Cada edificio tiene una determinada *referencia catastral* que nos servirá de enlace en Base de datos con las características constructivas de cada uno de forma que exista una relación biunívoca entre edificio-características –referencia catastral.

La referencia catastral se obtiene a partir de las coordenadas UTM del centroide (operador topológico informático) de cada edificio (subparcela), de forma que está definida por su situación en el plano y por la hoja en la que está contenido, así como huso de la proyección, etc. En nuestro caso se simplificará para que consten sólo dos dígitos, el primero definiendo la manzana y el segundo la parcela (edificio) dentro de la manzana.

Figura 3
Ejemplo Cartografía Catastral Urbana Digitalizada



Los campos de la base de datos para la calificación y posterior valoración recogidos en el cuadro 3, que son:

1. *Referencia catastral.*– Código topológico (14 dígitos).
2. *Coficiente Tipificación (ct).*– Compuesto por Tipología y Categoría (3 dígitos)
3. *Coficientes correctores.*– Antigüedad y estado de conservación (3 dígitos)
4. *Módulo Básico de Construcción (MBC).*– Valor actual en pesetas por polígono o casco urbano en función de estudios de mercado (5 dígitos).
5. *Superficie.*– Superficie en m² de la edificación para obtención de valor total.

Una de las informaciones con las que se debería contar es el *tipo de estructura del edificio* (muro de carga, hierro, hormigón, etc...). Este dato serviría para conocer el comportamiento ante sismo y valorar los daños producidos. En ciudades

como Madrid se está llevando a cabo, por parte del Colegio de Arquitectos, una Inspección Técnica de Edificios mediante la que se obtendrían diversos parámetros individualizados de cada construcción entre ellos el de tipo de estructura. Es por ello que vamos a introducir en la base de datos este parámetro para valorar el riesgo sísmico.

Explicación del gráfico “Función de pérdidas en edificaciones”

La influencia que la intensidad del sismo tiene en el daño a los edificios en el ejemplo de valoración que estamos desarrollando se encuentra en la “Función de Pérdidas en edificaciones”. Con base en los efectos que diversos movimientos sísmicos han provocado sobre edificaciones se ha desarrollado el gráfico 3.

Cuadro 3
Base de datos para valoración de pérdidas en edificios por ocurrencia de terremotos

| Ref. catastral | Tipología | Categoría | Antigüedad | Estado de conservación | MBC (€/m ²) | Tipo estruct. |
|----------------|-----------|-----------|------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| 11 | 1123 | 1,15 | 0,75 | 0,85 | 238 | HNS |
| 12 | 1122 | 1,35 | 0,65 | 0,85 | 238 | HS |
| 13 | 2137 | 0,3 | 0,42 | 0,5 | 238 | MC |
| 14 | 4123 | 1,45 | 0,8 | 0,85 | 238 | HS |
| 15 | 1125 | 0,9 | 0,8 | 1 | 238 | MS |
| 16 | 1123 | 1,15 | 0,65 | 0,85 | 238 | HNS |
| 17 | 3112 | 2 | 0,8 | 1 | 238 | MNS |
| 21 | 1126 | 0,8 | 0,45 | 0,85 | 238 | HNS |
| 22 | 1126 | 0,8 | 0,45 | 0,85 | 238 | HNS |
| 23 | 2222 | 0,5 | 0,7 | 1 | 238 | HS |
| 24 | 1127 | 0,7 | 0,65 | 0,5 | 238 | MS |
| 25 | 2111 | 1,05 | 0,6 | 0,85 | 238 | MC |
| 26 | 1125 | 0,9 | 0,8 | 1 | 238 | HNS |
| 27 | 1123 | 1,15 | 0,65 | 0,85 | 238 | HS |
| 28 | 3112 | 2 | 0,8 | 1 | 238 | HS |
| 29 | 1118 | 0,65 | 0,8 | 0,85 | 238 | HNS |
| 31 | 1112 | 1,4 | 0,4 | 0,5 | 195 | MNS |
| 32 | 2222 | 0,5 | 0,7 | 1 | 195 | MC |
| 33 | 1127 | 0,7 | 0,65 | 0,5 | 195 | MC |
| 34 | 3112 | 2 | 0,8 | 1 | 195 | HNS |
| 35 | 3121 | 2,55 | 0,9 | 1 | 195 | MNS |
| 36 | 1124 | 1 | 0,8 | 0,85 | 195 | HS |
| 37 | 1125 | 0,9 | 0,8 | 0,85 | 195 | HS |
| 38 | 1128 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 195 | MC |
| 41 | 1122 | 1,35 | 0,85 | 1 | 195 | HNS |
| 42 | 2111 | 1,05 | 0,85 | 0,85 | 195 | MNS |
| 43 | 1126 | 0,8 | 1 | 0,85 | 195 | HNS |
| 44 | 1122 | 1,35 | 0,85 | 1 | 195 | HS |
| 45 | 2214 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 195 | HNS |
| 46 | 1125 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 195 | HNS |
| 47 | 3314 | 2,1 | 0,6 | 0,25 | 195 | MC |
| 48 | 1123 | 1,15 | 0,7 | 0,5 | 195 | MS |
| 49 | 1122 | 1,35 | 0,9 | 0,85 | 195 | HS |
| 51 | 1114 | 1,05 | 0,7 | 0,85 | 238 | MS |
| Totales | | | | | | |

Los “inputs” son la intensidad sísmica en abscisas (de V a IX) y el porcentaje de edificio destruido por un movimiento de una intensidad dada en ordenadas, todo para 5 diferentes tipos de estructuras.

1. *Intensidad sísmica.*– Manifiesta de forma subjetiva, normalmente obtenida por encuestas a la población en la zona de ocurrencia del terremoto, la “fuerza” destructora del sismo. Se expresa en números romanos para evitar operacio-

Cuadro 3

Base de datos para valoración de pérdidas en edificios por ocurrencia de terremotos *Continuación*

| Nº de plantas | Superficie (m ² -plta.) | Valor total (€) | % Pérd. (I=6) | Valor pérd. (€) | % Pérd. (I=9) | Valor pérd. (€) |
|---------------|------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 2 | 100 | 34.897 | 2,8 | 977 | 25 | 8.724 |
| 6 | 200 | 213.023 | 2 | 4.260 | 18 | 38.344 |
| 1 | 130 | 1.949 | 7 | 136 | 40 | 780 |
| 2 | 160 | 75.094 | 2 | 1.502 | 18 | 13.517 |
| 5 | 100 | 85.680 | 0 | – | 10 | 8.568 |
| 6 | 90 | 81.659 | 2,8 | 2.286 | 25 | 20.415 |
| 2 | 162 | 123.380 | 0 | – | 13 | 16.039 |
| 7 | 150 | 76.470 | 2,8 | 2.141 | 25 | 19.117 |
| 5 | 110 | 40.056 | 2,8 | 1.122 | 25 | 10.014 |
| 2 | 160 | 26.656 | 2 | 533 | 18 | 4.798 |
| 2 | 85 | 9.205 | 0 | – | 10 | 920 |
| 2 | 100 | 25.490 | 7 | 1.784 | 40 | 10.196 |
| 3 | 180 | 92.535 | 2,8 | 2.591 | 25 | 23.134 |
| 4 | 340 | 205.659 | 2 | 4.113 | 18 | 37.019 |
| 2 | 105 | 79.968 | 2 | 1.599 | 18 | 14.394 |
| 3 | 190 | 59.962 | 2,8 | 1.679 | 25 | 14.990 |
| 3 | 300 | 49.071 | 0 | – | 13 | 6.379 |
| 2 | 190 | 25.899 | 7 | 1.813 | 40 | 10.360 |
| 2 | 85 | 7.531 | 7 | 527 | 40 | 3.012 |
| 2 | 150 | 93.469 | 2,8 | 2.617 | 25 | 23.367 |
| 1 | 175 | 78.208 | 0 | – | 13 | 10.167 |
| 2 | 140 | 37.076 | 2 | 742 | 18 | 6.674 |
| 2 | 150 | 35.752 | 2 | 715 | 18 | 6.435 |
| 2 | 130 | 9.113 | 7 | 638 | 40 | 3.645 |
| 2 | 330 | 147.477 | 2,8 | 4.129 | 25 | 36.869 |
| 2 | 100 | 29.545 | 0 | – | 13 | 3.841 |
| 2 | 90 | 23.835 | 2,8 | 667 | 25 | 5.959 |
| 2 | 280 | 125.132 | 2 | 2.503 | 18 | 22.524 |
| 2 | 120 | 9.814 | 2,8 | 275 | 25 | 2.454 |
| 4 | 130 | 27.340 | 2,8 | 766 | 25 | 6.835 |
| 1 | 180 | 11.041 | 7 | 773 | 40 | 4.416 |
| 5 | 120 | 47.027 | 0 | – | 10 | 4.703 |
| 6 | 360 | 434.387 | 2 | 8.688 | 18 | 78.190 |
| 4 | 135 | 80.293 | 0 | – | 10 | 8.029 |
| | | 2.503.692 | | 49.577 | | 484.829 |

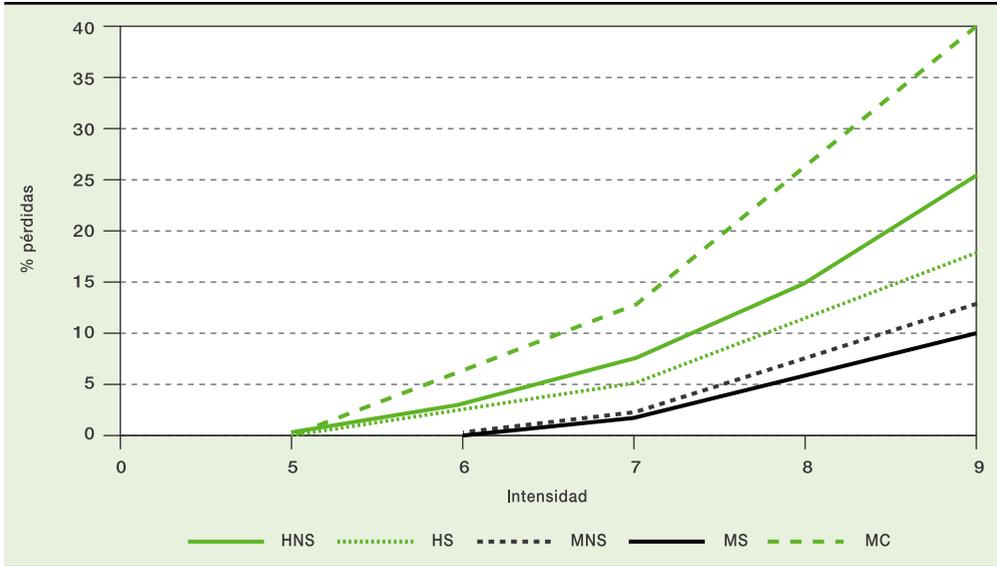
nes aritméticas con ellas. Tres tipos de estructuras no presentan daños con intensidades iguales o menores a V y otras dos siendo iguales o menores a VI.

2. *Porcentaje de pérdidas.* – Expresa la parte proporcional del edificio que queda

destruida o inaprovechable debido a un terremoto. También se puede entender como daños globales expresados como porcentaje del valor total del inmueble.

3. *Tipos de estructura.* – En un núcleo urbano medio de España, hoy en día es fácil

Gráfico 3
Función de pérdidas en edificaciones



agrupar las estructuras de los inmuebles en los siguientes tipos:

- MS. Estructura metálica diseñada especialmente contra sismo.
- MNS. Estructura metálica con diseño normal.
- HS. Estructura de hormigón diseñada especialmente contra sismo.
- HNS. Estructura de hormigón con diseño normal.
- MC. Estructura antigua basada en muros de carga.

El orden en que aparecen refleja de mayor a menor resistencia frente a sismos, de forma que MS serían los edificios esbeltos (torres y rascacielos) y al final los MC sería gran cantidad de edificios de más de 50-60 años muy abundantes en nuestras ciudades y pueblos.

Explicación de la base de datos para valoración

A continuación se detalla cada uno de los campos que componen la base de datos

que puede servir como propuesta de la parte alfanumérica de un SIG aplicado a la valoración de pérdidas en inmuebles debidas a terremotos.

La parte gráfica del SIG estaría formada por la cartografía catastral urbana 1:1.000 del núcleo urbano (existe de todos los núcleos de España con superficies superiores a 100 ha.). Su estructura topológica sería la misma que la del catastro, de forma que el centroide de parcela serviría para realizar los "links" adecuados con la parte alfanumérica (base de datos). De esta forma sería sencillo trazar mapas de intensidades y de grados de destrucción así como también de pérdidas totales, etc.

Los campos son los siguientes:

- *Referencia catastral.* – Ya se ha explicado antes que no es el tipo de referencia de uso en el catastro, aquí está simplificada para el ejemplo y sirve para relacionar la cartografía con la BD.
- *Tipología.* – Define mediante cuatro dígitos el uso, la clase, la modalidad y la

categoría de una construcción (un 2111 sería un edificio industrial, nave de fabricación y almacenamiento en una sola planta con una categoría 1).

- *Categoría.*– Al anterior edificio le correspondería un coeficiente de 0.70 para entrar en la fórmula de valoración. Con él se expresa mediante la valoración catastral la calidad dentro de su grupo.
- *Antigüedad y estado de conservación.*– Son los coeficientes correctores expresado anteriormente, entran también de forma directa en la fórmula.
- *MBC (Módulo Básico de Construcción).*– Se asigna a determinado polígono o caso urbano de modo uniforme basándose en los estudios de mercado. En el ejemplo existen dos diferentes MBC's
- *Tipo de estructura.*– Se han diferenciado 5 tipos. Se obtiene de la "hipotética" Inspección técnica de edificios.
- *Número de plantas.*– Número de pisos sobre rasante. Es un dato inherente a la cartografía catastral.
- *Superficie de cada planta en m².*– Se obtiene de los datos catastrales ya que es uno de los parámetros fundamental para la valoración.
- *Valor total.*– Aplicación de la fórmula de valoración:

$$\text{Valor Construcción} = [\text{MBC} * \text{ct} * (\text{Antigüedad} * \text{Est. Conservación})] * [\text{superficie (m}^2\text{)}]$$

- *Porcentaje de pérdidas.*– En función de los datos del gráfico de "función de pérdidas" mediante programación se obtiene el porcentaje del edificio destruido. Al final aparece el porcentaje medio de todos los edificios de la zona de estudio. Se aplica a varias Intensidades para obtener conclusiones finales.
- *Valor de las pérdidas.*– Aplicación del anterior porcentaje al valor total del edificio. Se obtiene así el coste, en dinero real de las pérdidas producidas.

A continuación se incluye la base de datos en la que se basa el sistema (*cuadro 3*) que sería susceptible de implementar en un S.I.G.

Vulnerabilidad Poblacional

No queremos dejar de tratar aunque sea levemente el aspecto más importante, desde el punto de vista humano que es el número de víctimas. La metodología de uso más extendido hoy en día se basa en el estudio inicial de la calidad constructiva (función de pérdidas ó matriz de vulnerabilidad) de los inmuebles (una vivienda de mampostería colapsada produce más mortandaz que una de estructura metálica). Las fórmulas empíricas simplificadas de Tiedemann (1992), Gülkan (1992) y Coburn son:

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} \text{ de muertos} &= 0.3 \times D5 \times Om \\ \text{N}^{\circ} \text{ de heridos} &= 6.0 \times n^{\circ} \text{ de muertos} \\ \text{N}^{\circ} \text{ personas sin hogar} &= Cl \times Om \end{aligned}$$

Siendo *D5* el nº de viviendas colapsadas, *Om* el nºcupantes (nº habitantes/nº viviendas) y *Cl* el nº casas inhabitables = *D5* + 100% destruidas + 50% daño medio. El grado de ocupación variará mucho según las zonas.

Conclusiones

La inclusión de diferentes intensidades en los cálculos lleva a obtener una serie de conclusiones, de forma que un movimiento de intensidad VI produce unos daños valorados en 50.000 € mientras que uno de intensidad IX produce 500.000 € (10 veces más, otro orden de magnitud) ésto demuestra la graduación logarítmica de la escala de intensidad.

Como ya se definió antes:

$$\text{Riesgo sísmico} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{coste económico}$$

Vulnerabilidad.- Medida de la susceptibilidad o predisposición intrínseca de los elementos expuestos a una amenaza a sufrir daño o una pérdida. La vulnerabilidad de una estructura ante la presencia de un desastre natural depende principalmente del tipo de construcción y se expresa en términos de daños o pérdidas potenciales esperadas según la magnitud del sismo.

Por tanto:

Existen múltiples estudios relacionados con estos temas. En Iberoamérica está especialmente estudiado debido a la abundancia de zonas sísmogénicas. Desde allí se proponen tres diferentes tipos de vulnerabilidad:

- **V. Estructural.**- Es el grado en que pueden afectarse los elementos estructurales de una edificación. Son todos los aspectos ingenieriles del edificio y afectan a la zona portante del mismo.
- **V. No Estructural.**- Un edificio que no sufra daños estructurales puede ser tan mortal como uno que sí los sufra. Los elementos no estructurales pueden causar la inhabilitación para su buen funcionamiento.
- **V. Funcional.**- Se da en términos de los efectos de un desastre en el buen funcionamiento de una edificación para el fin que tiene propuesto.

Estos tres tipos de vulnerabilidad deben ser considerados en una evaluación de edificios pre- y post-desastre como un factor de peligro en caso de sismo. Esta evalua-

ción debería estar incluida en la referida Inspección Técnica de Edificios a realizar en los principales núcleos urbanos sobre todo en zonas de alta sismicidad.

En función de estos datos los organismos competentes del Estado deberían tomar las medidas necesarias para prevenir estas pérdidas en lo posible, bien reforzando edificios en zonas de alta sismicidad o endureciendo la normativa sísmo resistente.

Bibliografía

BARBAT, A. H. (1996): Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones (earthquake spectra)

TIEDEMANM, H. (1992): Earthquakes & Volcanic Eruptions. Swiss Re.

MEZCUA, J. y J.M. MARTÍNEZ SOLARES (1983): Sismicidad del área Ibero-Magrebí. I.G.N.

Ángel García Yagüe: "Veinticinco años de normativa Sismorresistente (1969-1994)".

DR. DAVID WONG Y HUGO MORA (1988): "Determinación de Vulnerabilidad y Estimación de daños". (Universidad Tecnológica de Panamá)

JULIO MEZCUA: "El riesgo sísmico en España" (IGN).

Normas Generales del Catastro Urbano Español M^o Hacienda. Dirección General del Catastro (1995)

JAVIER ÁNGEL RAMÍREZ (1988): Acción Sísmica sobre edificaciones (E.U. Ing. Téc. Industrial).

Simulación de escenarios sísmicos (SES 2000) (Barranco Sanz, Pascual Santamaría e Izquierdo Álvarez) (Protección Civil-I.G.N.). ■