RIESGO SÍSMICO

Seismic risk

Marta González y Montserrat Mases

RESUMEN

En este artículo se presentan los nuevos conceptos surgidos recientemente en el campo de la sismología. En los últimos años las líneas de investigación tienden a aparcar el fenómeno terremoto y a centrarse en la parte más preventiva y de ordenación del territorio. A partir de la introducción de riesgo sísmico se explican los conceptos que forman parte de su definición. Se ha preparado una práctica para reforzar los nuevos conocimientos a partir de una discusión en grupo.

ABSTRACT

This article presents the new concepts appear recently in the field of the seismology. In the last years the lines of investigation are centre in the preventive field. From the explanation of the seismic risk are explain the others concepts that form a part of its definition. A practice has been prepared to reinforce the new knowledges from a discussion in group.

Palabras clave: *Riesgo sísmico, peligrosidad sísmica, vulnerabilidad, normas sismorresistentes, efectos de suelo, licuefacción.*

Keywords: *Seismic risk, seismic hazard, vulnerability, soils efects, liquefaction, Earth-resistant-design.*

"Miles de muertos al temblar Turquía". El balance del terremoto, uno de los mayores del siglo en la zona, es ya de más de 2.000 muertos y 10.000 heridos. Portada de la Vanguardia del 18 de agosto de 1999. *" Un fuerte terremoto causa al menos 30 muertos y derriba varios edificios en el centro de Atenas"*. Titular de El País el 8 de septiembre de 1999. *" Taiwan : 280 muertos en un seísmo". Más de 2.100 heridos y desaparecidos por uno de los terremotos más fuertes de los últimos tiempos*. Portada de la Vanguardia el 21 de septiembre de 1999. Sin olvidar el terremoto de Italia el 31 de octubre del 2002 que causó la muerte de 29 personas al derrumbarse una escuela, 26 de ellas niños. O el último terremoto ocurrido el 1 de mayo en Turquía que colapso un internado donde dormían más de 200 menores.

Estamos acostumbrados a escuchar noticias que nos indican los efectos que producen los terremotos sobre las personas, las edificaciones, la economía, el entorno,... Pero, ¿porqué dos terremotos de la misma magnitud en distintas zonas provocan daños y víctimas diferentes?

Sabemos que es un terremoto, porqué se produce, como se registran y sus escalas, pero muchas veces se habla de otros conceptos como son la vulnerabilidad sísmica, los efectos de suelo etc., que desconocemos, y que sólo oímos hablar de ellos cuando la sociedad es sacudida por un terremoto catastrófico.

A partir del concepto de riesgo sísmico se intentarán explicar los demás términos que forman parte de su definición.

EL CONCEPTO DE RIESGO SÍSMICO

El riesgo sísmico se define como la combinación de la peligrosidad sísmica, la vulnerabilidad de los edificios y las pérdidas económicas (expresadas en términos de unidades monetarias). Es un concepto de orden social y económico. Su expresión es la siguiente:

$$RS = PS \times V \times CE$$

RS = Riesgo sísmico, P = peligrosidad sísmica,
V = vulnerabilidad, CE = costes económicos

Para entender el concepto de riesgo sísmico es necesario explicar los conceptos de peligrosidad sísmica y vulnerabilidad sísmica.

(*) CRECIT (Centre de recerca en Ciències de la Terra) c/ La Valireta núm. 5, Encamp. Principat d'Andorra. crecit@andorra.ad

Peligrosidad sísmica

Indica la probabilidad de ocurrencia de un determinado terremoto (de magnitud o intensidad definidos) durante un determinado periodo de tiempo. Es el elemento básico para la estimación del riesgo sísmico de una región determinada.

Vulnerabilidad

Se define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un terremoto de una intensidad dada. Generalmente, cuando se habla de vulnerabilidad se hace referencia a las estructuras, debido a que éstas transmiten los efectos del sismo a todos los demás elementos como son las personas y los bienes materiales contenidos en la misma. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Esto significa que una estructura puede ser vulnerable y no estar en riesgo porque está ubicada en una zona sin peligrosidad sísmica.

La vulnerabilidad de los edificios depende de las características del diseño y construcción, calidad de los materiales, edad, altura etc.

Los estudios de vulnerabilidad no sólo se realizan en edificios, sino que se realizan también en puentes, carreteras, instalaciones industriales, redes de distribución de gas, redes eléctricas etc.

Pérdidas económicas

En los titulares presentados en la introducción se ha visto que los terremotos ocasionan severas pérdidas económicas allí donde ocurren, además de graves daños a la población. El cálculo de las pérdidas se puede dividir en dos: pérdidas directas y pérdidas indirectas. Las pérdidas directas son las que están relacionadas directamente con el edificio. Las pérdidas indirectas incluyen las víctimas humanas, el contenido de los edificios y las pérdidas económicas provocadas por la paralización de la producción industrial y de las actividades comerciales etc.

Según la ecuación, un terremoto puede ser muy destructor si se produce en zonas muy habitadas y con construcciones de mala calidad y poco destructor si se produce en una zona deshabitada o en una zona habitada con buenas construcciones.

La combinación de la peligrosidad sísmica y la vulnerabilidad sísmica nos permite identificar zonas con una peligrosidad sísmica más grande y zonas con una vulnerabilidad sísmica más grande.

PELIGROSIDAD SÍSMICA

Para calcular la peligrosidad sísmica de una zona es necesario conocer la distribución de los terremotos en el tiempo y en el espacio, es decir, hay que conocer la sismicidad de la zona (figura 1). Sin un buen conocimiento de la sismicidad de una zona no se puede hacer una buena estimación de la peligrosidad sísmica. Sin una buena estimación de la peligrosidad sísmica es imposible realizar buenas medidas de prevención. Por ejemplo, la sismorresistencia de los edificios puede ser insuficiente ante la severidad del movimiento del suelo, si el valor calculado es menor al que realmente ha ocurrido.

Para poder hacer un buen cálculo de la peligrosidad sísmica es necesario estudiar también la influencia de los efectos locales de la zona, ya que estos efectos influirán en el aumento de los grados de daños provocados sobre las construcciones, vías de comunicación, instalaciones de gas, agua etc.

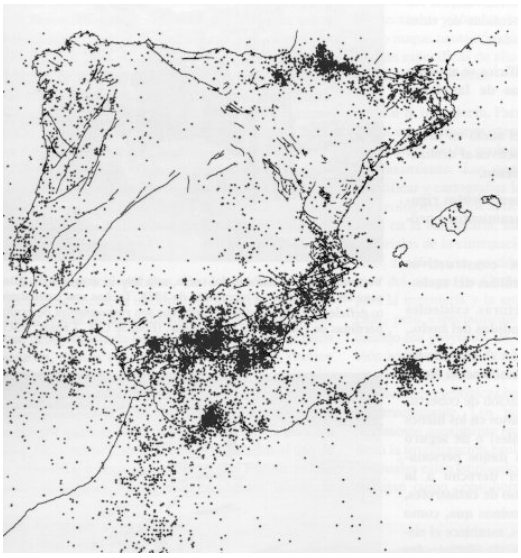


Fig. 1. Mapa de sismicidad de la península ibérica. Extraído del ICOG (1997).

VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad de los edificios depende de las características del diseño y construcción, de la calidad de los materiales, de la edad, de la altura etc.

¿Cómo influyen estos parámetros en la vulnerabilidad?¿Cómo se clasifican los edificios en clases de vulnerabilidad?

La característica que se utiliza para clasificar los edificios en clases de vulnerabilidad es la estructura de la construcción, pero esta puede ser modificada por otros factores como edad, altura, estado del edificio, simetría de la edificación, etc.

Las estructuras de las construcciones pueden ser de mampostería, de hormigón armado, de acero o de madera. Una estructura de mampostería es más vulnerable que una de acero.

La edad es un parámetro que influye en el deterioro de la resistencia de los materiales utilizados, también es indicador de las etapas constructivas de los edificios.

El estado de conservación del edificio es importante ya que un edificio en mal estado es más vulnerable que otro en buen estado.

La simetría del edificio, edificios irregulares y asimétricos son más vulnerables que los edificios regulares. Por ejemplo edificios con planta en forma de H, T ó L son más vulnerables.

Para estudiar el comportamiento de las edificaciones frente a un sismo se pueden utilizar diferentes escalas que describen la clasificación de los edificios: la escala M.S.K., la Escala Europea de intensidad macrosísmica EMS-92 ó su nueva versión EMS-98, etc.

En este caso utilizaremos la escala EMS-98 que es la más utilizada. La escala define las clases de vulnerabilidad de las construcciones y los grados de daños que estos pueden sufrir y en base a estas definiciones describe los grados de intensidad que provoca un terremoto.

Clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad

La escala define 6 clases de vulnerabilidad: A, B, C, D, E y F. Los más vulnerables son los de tipo A y los menos vulnerables son los de tipo E y F que utilizan diseño antisísmico en su construcción.

Para clasificar los edificios en clases de vulnerabilidad se miran los tipos de estructura, si son de mampostería, hormigón armado, acero o madera, y dentro de cada grupo hay otras subdivisiones que nos definirán su clase de vulnerabilidad, por ejemplo dentro de la estructura de mampostería se mirará si esta es de adobe, sillería, de ladrillo no reforzado etc.

Se presenta una tabla (tabla I) en la que se muestra de forma simplificada las clases de vulnerabilidad que asigna la escala EMS-98. En ella sólo se indican las clases más probables de cada estructura.

Por ejemplo se observa que un edificio con estructura de mampostería en seco es más vulnerable que una estructura de hormigón y esta más vulnerable que una estructura de acero.

Una vez clasificados los edificios en clases de vulnerabilidad las escalas dan una clasificación del daño que pueden sufrir un edificio bajo la acción de un sismo.

TIPOS DE ESTRUCTURA		**CLASES DE VULNERABILIDAD**					
		A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Mampostería	Mampostería en seco o con barro	×					
	Adobe	×					
	Bloques de piedra común		×				
	Sillería			×			
	Ladrillo no reforzado con bloques de hormigón		×				
	Ladrillo no reforzado con techos de hormigón armado			×			
	Ladrillo reforzado				×		
Hormigón armado	Muro estructural sin diseño antisísmico (ERD)			×			
	Muro estructural con nivel medio de ERD				×		
	Muro estructural con alto nivel de ERD					×	
	Paredes sin ERD			×			
	Paredes con nivel medio de ERD				×		
	Paredes con alto nivel de ERD					×	
Acero	Estructura de acero					×	
Estructura de madera	Estructura de madera				×		

Tabla I. Tabla simplificada con las clases de vulnerabilidad. × *Clase de vulnerabilidad más probable.*

En la tabla observamos que no hay ninguna cruz que muestre las clases más probables sobre las clases de vulnerabilidad F, esto es debido a que la tabla es una simplificación de la original (http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/). La original muestra tres diferencias: 1) la clase de vulnerabilidad más probable, que es la simplificación que se muestra en esta tabla; 2) los rangos de casos menos probables (excepcionales) y 3) los rangos más probables, que no son mostrados. Si representaramos en la tabla los rangos más probables los edificios con estructura de acero y los edificios de hormigón armado con muros y estructura con nivel alto de DSR estarían clasificados en la clase de vulnerabilidad F.

Grado 1: Daño de insignificante a ligero (ningún daño estructural) Grietas capilares en muy pocos muros; caída de pequeñas piezas de yeso. Caída de piedras sueltas desde las partes superiores de los edificios, sólo en muy pocos casos.	**Grado 2: Daño moderado (daño estructural ligero, daño no estructural moderado)** Grieta en muchos muros; caída de bastantes grandes piezas de yeso; caída de trozos de la chimenea.	**Grado 3: Daño de considerable a severo (daño estructural moderado, fuerte daño no estructural).** Grandes y amplias grietas en la mayoría de los muros; deslizamiento de tejas o placas de pizarra (esquisto). Rotura de chimeneas a la altura del techo; caídas de elementos no estructurales individuales (tabiques, paredes...)	**Grado 4: Daño muy severo (daño estructural serio, daño no estructural muy serio)** Serias caídas de paredes; caídas parciales estructurales	**Grado 5: Destrucción (daño estructural muy serio)** Colapso total o muy próximo a él.

Tabla II. Descripción de los tipos de daño en edificios de mampostería. Los términos cuantitativos utilizados: pocos, muchos la mayoría vienen definidos en la escala. La escala EMS-98 para cuantificar la descripción de daños emplea tres términos cuantitativos definidos en la escala: algunos, muchos y la mayoría. Los porcentajes asignados a estos términos son: algunos: de 0 al 20%; muchos: de 10 a 60 %; la mayoría: de 50 a 100%.

Descripción de los grados de daño

Hay cinco grados de daño:

Grado 1: daño de insignificante a ligero (ningún daño estructural).

Grado 2: daño moderado (daño estructural ligero, daño no estructural moderado).

Grado 3: daño de considerable a severo (daño estructural moderado, fuerte daño no estructural).

Grado 4: Daño muy severo (daño estructural serio, daño no estructural muy serio).

Grado 5: Destrucción (daño estructural muy serio).

Se muestra un ejemplo (tabla II) de la descripción de los tipos de daño en edificios de mampostería. Para cada grado de daño se hace una descripción de los daños que produce en los edificios de mampostería.

Definición de los grados de intensidad

La escala define 12 tipos de grado de intensidad (tabla III), desde grado de intensidad I, no percibido, hasta grado de daño XII, devastación total.

Los efectos que definen los grados de intensidad son los efectos que produce el terremoto sobre las personas, sobre los objetos, la naturaleza y sobre los edificios.

Por ejemplo la intensidad III, débil, se describe como:

- Efectos sobre las personas: El terremoto es percibido dentro de las viviendas por pocas personas. Aquéllas que están recostadas sienten un balanceo o un ligero temblor.

- Efecto sobre los objetos: Los objetos colgantes se balancean ligeramente.

- Daño en los edificios: Ningún daño.

Intensidad	Descripción
I	No percibido
II	Apenas percibido
III	Débil
IV	Ampliamente observado
V	Fuerte
VI	Daño ligero
VII	Dañino
VIII	Daño serio
IX	Destructivo
X	Muy destructivo
XI	Devastador
XII	Devastación total

Tabla III. Descripción de las intensidades.

EFECTOS DE SUELO

Muchas veces los grados de daños provocados sobre las construcciones, vías de comunicación, instalaciones de gas, de agua, etc. son mayores que los esperados en la zona debido a la influencia de los efectos de suelo. El efecto de suelo es un factor que hay que tener en cuenta en el calculo de la peligrosidad ya que si éste existe en la zona aumenta la peligrosidad.

El concepto de "efecto de suelo" puede resultar difícil de entender, ya que se define como la variación de la señal sísmica (figura 2) entre dos puntos próximos debido a la configuración geológica, geometría, propiedades dinámicas de la formación superficial (como la densidad, velocidad de las ondas P, etc.) y topografía.

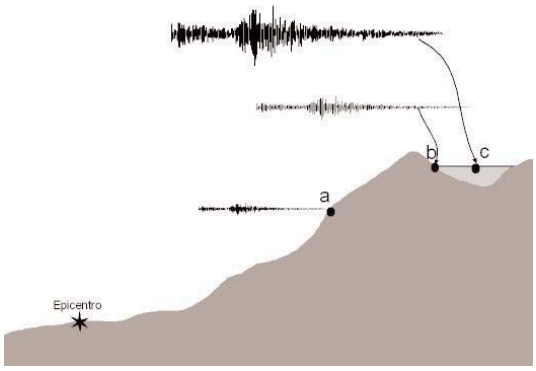


Figura 2. Esquema de la variación de la señal sísmica en diferentes emplazamientos. Modificado de Selebi, M. et al. (1987).

Para entender que es un efecto de suelo, imaginemos dos ciudades cercanas, una sobre roca (material duro) y otra sobre suelo (material blando), en cada ciudad hay un sismógrafo. Se registra un terremoto en los dos sismógrafos (las dos ciudades más o menos se encuentran a la misma distancia del epicentro del terremoto); en el sismógrafo ubicado en la ciudad sobre suelo la señal registrada es más grande que en el sismógrafo que está situado sobre roca , la diferencia de tamaño y las diferentes características de la señal se traduce en que las personas que viven en la ciudad que está sobre suelo han notado el terremoto con más intensidad que los de la ciudad que esta sobre roca. Los niveles de daños también son mayores en las estructuras que hay en la ciudad sobre suelo que sobre roca.

El origen de los "efectos de suelo" es la presencia de materiales superficiales blandos (suelos), de relieves (efecto topográfico) o de fuertes discontinuidades laterales del subsuelo (figura 3).

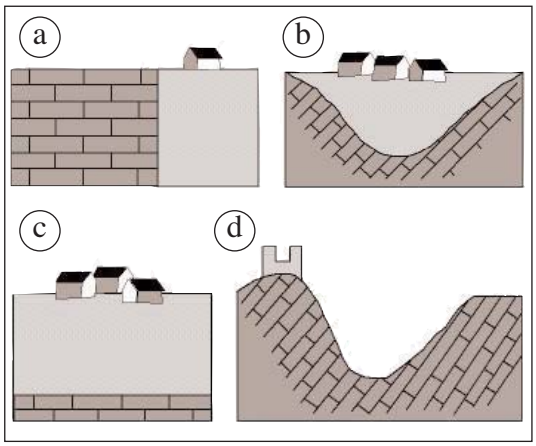


Figura 3. Origen de los efectos de suelo. a) Fuertes discontinuidades laterales, b y c) materiales superficiales blandos y d) presencia de relieves convexos.

En general se produce amplificación sobre topografías convexas (zonas elevadas con relieve) y desamplificación sobre las cóncavas (zonas bajas con valles). Los suelos blandos amplifican la señal. El fenómeno responsable de la amplificación del movimiento del suelo es la presencia de capas superficiales poco consolidadas en las cuales las ondas "quedan atrapadas". Las interferencias entre las ondas atrapadas dan lugar a fenómenos de resonancia.

FENÓMENOS ASOCIADOS A LOS TERREMOTOS

Los efectos sísmicos locales pueden dar lugar a efectos inducidos, siendo los más importantes la licuefacción, los deslizamientos y los efectos diferenciales.

Asentamientos diferenciales en el suelo, fundamentalmente en terrenos sueltos y con gran cantidad de agua.

Deslizamientos de tierra y formación de coladas de fango, en condiciones normales los terrenos son estables, pero al estar sometidos a la acción de la carga sísmica pierden su estabilidad produciéndose un arrastre del suelo que puede ser lento y progresivo o rápido. Que se produzca un deslizamiento en una pendiente durante un sismo depende de los materiales de la ladera, de la geometría de la pendiente, de las condiciones del nivel freático y del tamaño del terremoto.

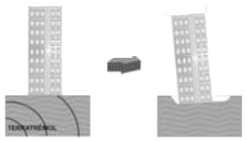
Tsunamis o maremotos, olas que se producen con grandes terremotos de epicentro marino y que alcanzan una mayor altura al llegar a las costas

Licuefacción, es el proceso de pérdida de resistencia de ciertos tipos de suelos, estos están saturados en agua y cuando son sometidos a la sacudida de un terremoto fluyen como un líquido a causa de un aumento de la presión de poros. La pérdida de resistencia del suelo hace que las estructuras sean incapaces de mantenerse es-

tables y sean arrastradas sobre las masas de suelo líquido. La licuefacción se ha observado principalmente en lugares cercanos a ríos, bahías, mares, etc..., donde se encuentran terrenos poco consolidados como arenas, limos, suelos arcillosos, etc.

Aludes de nieve y de piedra,

Inundaciones, por rotura de presas, conducciones de agua, etc.

	*Asentamientos diferenciales en el suelo*
	Deslizamientos de tierras y formación de coladas de barro. Terremoto de Anchorange (Alaska, USA) en Marzo de 1964, con magnitud 8.6. La vivienda ha sido arrastrada por un corrimiento de tierras.
	Licuefacción, Terremoto de Nigata, Japón (16 Junio de 1964, magnitud 7.5). Debido a la licuefacción del suelo los edificios han volcado hundiéndose parcialmente.

PROTEGERSE DE LOS TERREMOTOS

A pesar de los esfuerzos hechos por los investigadores de todo el mundo en el campo de la sismología, por ahora no es posible predecir cuando y donde se producirá un terremoto. Pero, los terremotos se seguirán produciendo donde se han producido en épocas anteriores.

A parte de la incapacidad de la predicción de los sismos, existen otros factores que contribuyen a aumentar la destructividad de los terremotos. Estos factores son cuatro: magnitud del sismo, distancia del terremoto al centro de la población, distribución y tamaño de las poblaciones perjudicadas y desarrollo económico y por último el grado de preparación de la población frente al posible terremoto.

El factor realmente natural y sobre el cual el hombre no puede intervenir es el tamaño del sismo.

Sobre la distancia del sismo al centro de la población el hombre puede actuar mediante una buena planificación del territorio. Conocidos los lugares donde se encuentran las fuentes sísmicas se puede evitar el desarrollo de las poblaciones alrededor de determinadas áreas.

Otra forma de protegerse de los efectos de un terremoto es mediante la buena construcción de los edificios, utilizando las normas de construcción sismorresistentes, que son normas de construcción adecuadas a la sismicidad de la zona, para conseguir que los edificios soporten el terremoto.

Otro factor importante es el de la preparación de la población, no es necesario alarmar a la población pero si informar que se encuentran en una zona de riesgo. Explicarles que conviven con un riesgo natural, y darles unas pautas de actuación para que sepan como comportase en el momento que se produzca. La mejor forma de protegerse de un terremoto es estar bien informado y preparado. Si además existe un plan de emergencia ante el riesgo sísmico mucho mejor.

NORMAS DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTES

A lo largo del artículo se ha ido explicando qué es el riesgo sísmico y los elementos necesarios para poder calcularlo. Se ha visto que actualmente es imposible predecir los terremotos y que la única forma de protegerse de ellos es a partir una buena prevención, realizando una buena ordenación del territorio, alejándose de las zonas con más peligrosidad, con un mayor conocimiento del fenómeno y utilizando las normas de construcción sismorresistentes adaptadas a la sismicidad de cada país.

En este apartado se explica en que consiste una norma sismorresistente, como ejemplo se utilizará la última norma aprobada en España.

En España las normas símicas datan de las décadas de los años 20 y 30 del siglo pasado. Actualmente la norma vigente es la NCSE-02, aprobada por el Ministerio de Fomento en el Real decreto 997/2002, del 27 de septiembre y publicada el viernes 11 de octubre en el BOE número 244. En ella se establecen las condiciones técnicas que tienen que cumplir las estructuras de edificación, a fin de que su comportamiento ante fenómenos sísmicos evite consecuencias graves para la salud y la seguridad de las personas, evite pérdidas económicas y propicie la conservación de servicios básicos para la sociedad en caso de terremotos de intensidad elevada.

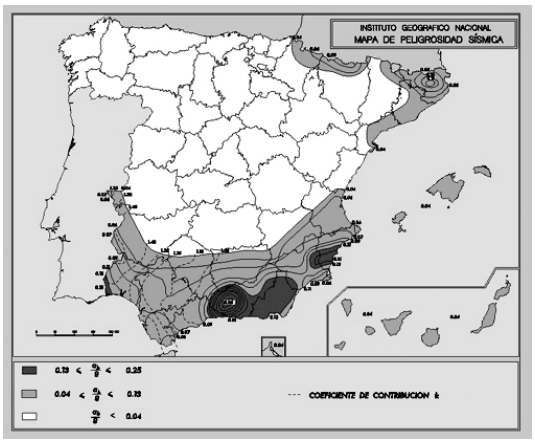


Figura 4. Mapa de peligrosidad sísmica de España. NCSE-02

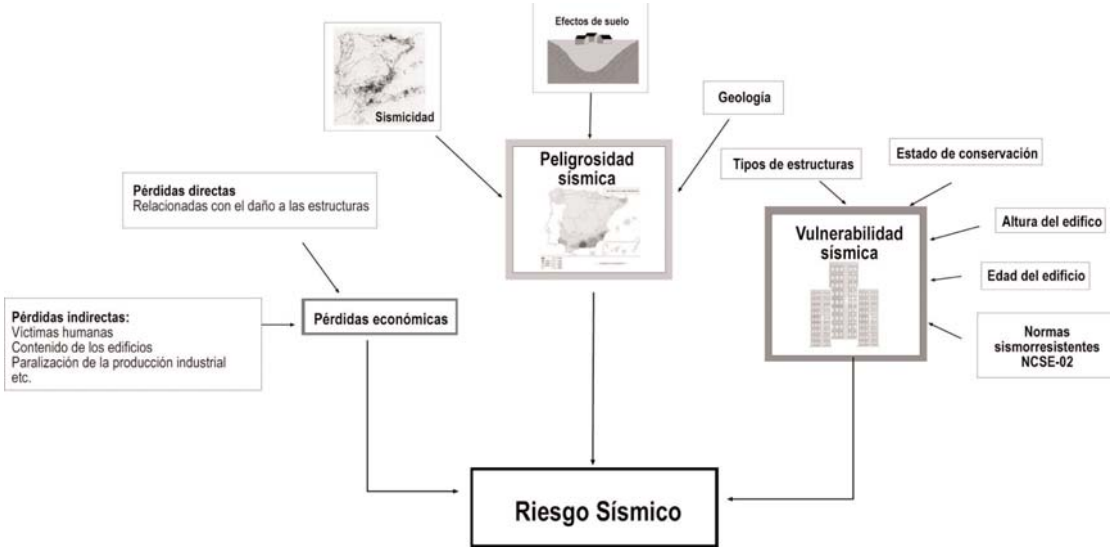


Figura 5. Diagrama del Riesgo sísmico.

La norma clasifica los diferentes tipos de estructura según sean de importancia normal o de especial importancia:

> Edificios de importancia normal son aquellos cuya destrucción por un terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.
>
> Edificios de especial importancia son aquellos cuya destrucción por un terremoto puede interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo pertenecen los hospitales, bomberos, edificios de los medios de comunicación (radio, televisión, etc.), edificios de policía, vías de comunicación, carreteras, aeropuertos, ferrocarril, monumentos históricos, depósitos de agua, centrales eléctricas, etc.

La norma define un mapa de peligrosidad sísmica del territorio (figura 4), y nos indica un valor de peligrosidad a partir del cual es necesario aplicar la norma.

EN EL AULA

Se ha realizado un diagrama del riesgo sísmico (figura 5) en el que se sintetizan todos los conceptos que tiene que quedar claros.

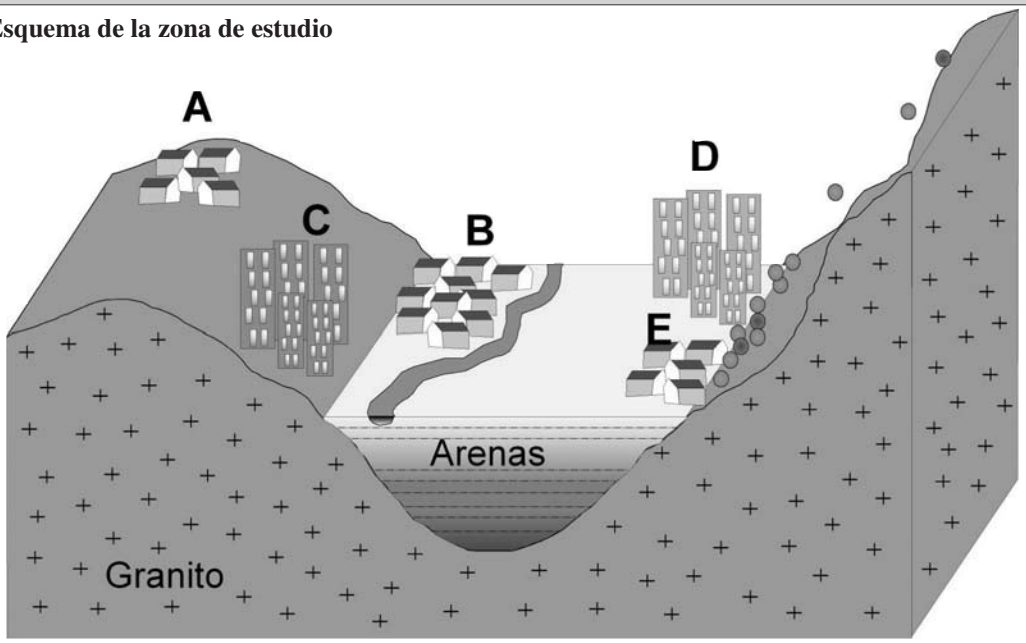
A simple vista se observa que para realizar una evaluación completa de riesgo sísmico es necesario conocer por una parte la peligrosidad sísmica de la zona y por otra parte la vulnerabilidad sísmica de los edificios. La peligrosidad sísmica de una zona esta condicionada por los terremotos que se producen en la zona (sismicidad), no sólo de los terremotos que se producen dentro de la zona de estudio sino aquellos que produciéndose fuera de la zona puedan afectarla, también depende de la geología y de los efectos de suelo. La vulnerabilidad sísmica de los edificios depende del tipo de estructura del edificio, del estado de conservación, de la altura, de la edad del edificio y de si se han utilizado o no normas de construcción sismorresistentes.

Para el cálculo de la pérdidas económicas tendremos que tener en cuenta las pérdidas directas y las pérdidas indirectas provocadas por el terremoto. Las pérdidas directas son aquellas que están relacionadas directamente con las características físicas de los edificios, siendo las resultantes del daño estructural y no estructural experimentado por éstos. Y las pérdidas indirectas incluyen las víctimas humanas, el contenido de los edificios y las perdidas económicas provocadas por la no funcionalidad del edificio, que puede provocar la paralización de la producción industrial y de las actividades comerciales.

PRÁCTICA: ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO

A una empresa se le ha encargado un estudio de riesgo sísmico de una zona urbanizada como la que se muestra en el siguiente bloque diagrama:

Esquema de la zona de estudio



Las personas encargadas del estudio han buscado toda la información existente en la zona para ver con que datos se cuenta. A continuación se hace una breve descripción de la información recogida:

Descripción de la zona:

SISMICIDAD: Es una zona con una sismicidad elevada. Históricamente se han producido en la zona terremotos de magnitud mayor o igual a 7 en la escala de Richter.

GEOLOGIA: Se observan dos tipos de materiales, la zona central (cubeta) es un relleno sedimentario compuesto de arenas, en algunas zonas estas arenas tienen un alto contenido en agua (en la parte cercana al río), el otro material es granito.

TOPOGRAFIA: Contamos con una zona plana (cubeta) y a los lados dos laderas, una con una fuerte pendiente y otra con una pendiente más suave.

OTROS RIESGOS: Caídas de piedras en la ladera de fuerte pendiente y posibles inundaciones en los márgenes del río.

A parte de los datos geológicos que se acaban de describir, se ha recogido información sobre el tipo de edificaciones existentes en las diferentes poblaciones, a continuación se describen.

Tipos de edificios

Pueblo A: Predominan las casas con estructura de mampostería en seco.
Pueblo B: Predominan las casas de adobe.
Pueblo C: Edificios con estructura de acero.
Pueblo D: Edificios con estructura de hormigón armado con paredes sin diseño antisísmico
Pueblo E: Edificios de Bloques de piedra común.

Con todos estos datos tenemos que realizar un análisis de riesgo sísmico de la zona descrita. Se pide:

1) Indica las clases de vulnerabilidad de los edificios de cada población ayudándote de la siguiente tabla y haz un listado de los edificios de más a menos vulnerabilidad.

TIPOS DE ESTRUCTURA		CLASES DE VULNERABILIDAD					
		A	B	C	D	E	F
Mampostería	Mampostería en seco o con barro	×					
	Adobe	×					
	Bloques de piedra común		×				
	Sillería			×			
	Ladrillo no reforzado con bloques de hormigón		×				
	Ladrillo no reforzado con techos de hormigón armado			×			
	Ladrillo reforzado				×		
Hormigón armado	Muro estructural sin diseño antisísmico (ERD)			×			
	Muro estructural con nivel medio de ERD				×		
	Muro estructural con alto nivel de ERD					×	
	Paredes sin ERD			×			
	Paredes con nivel medio de ERD				×		
	Paredes con alto nivel de ERD					×	
Acero	Estructura de acero					×	
Estructura de madera	Estructura de madera				×		

Tabla simplificada con las clases de vulnerabilidad. • Clase de vulnerabilidad más probable

2) Describe el emplazamiento de cada zona en forma de tabla:

	Vulnerabilidad	Geología	Sismicidad	Otros riesgos	Topografía	Efectos inducidos
Pueblo A						
Pueblo B						
Pueblo C						
Pueblo D						
Pueblo E						

3) Haz una listado ordenando las poblaciones de más a menos riesgo sísmico.

Riesgo	Poblaciones	Comentarios
+ ↓ −		

Razona todas tus respuestas

CONCLUSIONES

Este artículo pretende alejarse de la forma tradicional de estudiar los terremotos a partir de la introducción de nuevos conceptos surgidos en los últimos años en el campo de la sismología. Está enfocado como una herramienta de trabajo para los profesores. En él se presenta un diagrama que resume los conceptos que se tienen que explicar en el aula y se propone una práctica para realizar primero individualmente (para que los alumnos razonen y piensen en el problema) y después para realizar una puesta en común y realizar una discusión en la que se reforzará por una parte la terminología introducida y por otra quedarán claros los conceptos. Se puede adaptar a diferentes niveles educativos, aunque debido a su complejidad se recomienda para los cursos de bachillerato. Presenta la ventaja que es una práctica interesante por su bajo coste.

BIBLIOGRAFÍA

Selebi, M. et al. (1987). Site amplification in México City (determined from 19 September 1985 strong- motion records and from gs of weaks motions), in Ground M and Engineering Seismology, ed. A.S. Cakmak, pp. 141-152.

Grünthal, G (1998). European Macroseismic Scale 1998. Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Geódynamique et de Séismologie. Vol 15 Luxembourg. http://www.gfz-potsdam.de/ pb5/pb53/projekt/ems/

ICOG (1997). Guía ciudadana de los riesgos geológicos. ISBN: 84-920097-3-X.

NCSE-02. Norma de la Construcción Sismorresistente española (2002). Real decreto 997/2002, del 27 de septiembre y publicada el viernes 11 de octubre en el BOE número 244.

NCSE-94. Norma básica de la edificación (NBE). Acciones en la edificación. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente.

http://www.proteccioncivil.org/pefn/gmartin/gmartin04.htm ■

SOLUCIÓN A LA PRÁCTICA

A continuación se presenta la solución de la práctica propuesta:

a) Tipos de edificios en las diferentes poblaciones que se observan: (Los datos se extraen de la tabla 1 de la teoría)

- Pueblo A: Predominan las casas con estructura de mampostería en seco. Vulnerabilidad A
- Pueblo B: Predominan las casas de adobe. Vulnerabilidad A
- Pueblo C: Edificios con estructura de acero. Vulnerabilidad E
- Pueblo D: Edificios con estructura de hormigón armado con paredes sin diseño antisísmico. Vulnerabilidad C
- Pueblo E: Edificios de Bloques de piedra común .Vulnerabilidad B

Listado de los edificios de más a menos vulnerabilidad:

- Pueblo A y B con edificios de vulnerabilidad A (los más vulnerables)
- Pueblo E, con edificios de vulnerabilidad B
- Pueblo D, con edificios de vulnerabilidad C
- Pueblo C, con edificios de vulnerabilidad E (menos vulnerables)

b) **La Descripción del emplazamiento de cada zona se puede hacer en forma de tabla:**

	Vulnerabilidad	Geología	Sismicidad	Otros Riesgos	Topografía	Efectos inducidos
Pueblo A	A	Granito	=		Zona cóncava	
Pueblo B	A	Arenas	=	Inundaciones	Plano	Licuefacción
Pueblo C	E	Granito	=		Mitad pendiente	
Pueblo D	C	Arenas	=	Caídas de piedra	Plano	Caída de piedras
Pueblo E	B	Arenas	=	Caídas de piedra	Plano	Caída de piedras

c) Tabla que nos describe los pueblos con más riesgo a los de menos riesgo:

Riesgo	Pueblos	Comentarios
+	Pueblo B	Con edificios de clase de vulnerabilidad A, situado en suelos, con alto contenido en agua, que puede dar lugar a posibles efectos de licuefacción, y tiene efectos de suelo debido a la presencia de suelos blandos en superficie y a la morfología de la cubeta.
	Pueblo E	Con edificios de clase de vulnerabilidad B, situado en suelos, con los mismos efectos de suelo que el pueblo B, pero además al estar al lado de la ladera como efectos inducidos tiene la caída de piedras.
	Pueblo A	Con edificios de clase de vulnerabilidad A, situado en roca, pero con topografía cóncava que amplifica el movimiento del suelo.
	Pueblo D	Con edificios de clase de vulnerabilidad C, al estar al lado de la ladera como efectos inducidos tiene la caída de piedras, pero además como efectos de suelo tiene los mismos que los pueblos B y E.
-	Pueblo C	Con edificios de clase de vulnerabilidad E, efectos inducidos.

Notas:

Al pueblo D y E los diferencia la clase de vulnerabilidad. La peligrosidad es la misma para los dos pero la vulnerabilidad es mayor en el E ya que los edificios pertenecen a la clase de vulnerabilidad B y los del pueblo D tienen vulnerabilidad C.

El pueblo A y B tienen edificios con la misma clase de vulnerabilidad, pero el pueblo B tiene un riesgo mayor por los efectos de suelo y los posibles efectos inducidos que aumentan la peligrosidad de la zona.

El pueblo C es el que tiene edificios menos vulnerables de todos y menor peligrosidad ya que no tiene posibles efectos de suelo ni posibles efectos inducidos.