

FIGURA 5: Mapa de la sismicidad mundial.

Mediante investigaciones geofísicas se ha observado que debajo de los océanos se encuentran las denominadas Cordilleras o Dorsales Centro-Oceánicas en las cuales se produce un intenso volcanismo no explosivo. Como consecuencia de este proceso, el material incandescente, que asciende desde el manto superior, aflora a la superficie del fondo oceánico en la cima de la cordillera Centro-Oceánica, a través de una depresión central. El material magmático se extiende sobre el piso oceánico donde se enfría y solidifica, empujando la corteza a ambos lados de la dorsal a razón de varios centímetros por año (Fig.4). Esto significa que las depresiones centrales son el lugar donde comienza la expansión del fondo oceánico. Para que exista un equilibrio global es necesario que el aporte del nuevo material cortical sea compensado con la desaparición de otro material de corteza que se ubica en otras zonas. Esto ocurre en las fosas marinas, ya que en este lugar las placas oceánicas se sumergen debajo de las continentales, definiendo una geometría particular. A la morfología que presenta la misma se la denomina Zona de Subducción (Figs. 6 y 7); ésta comienza en el contacto de las dos placas (en la

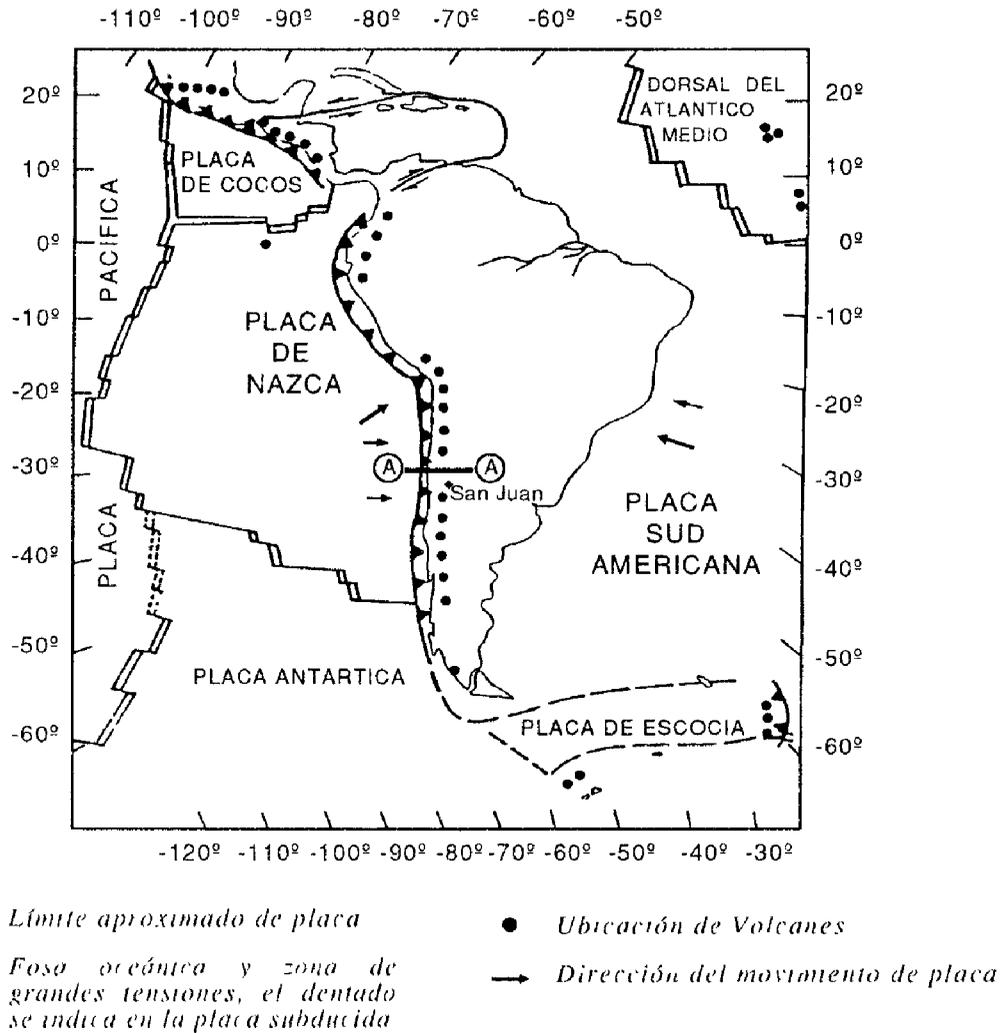


FIGURA 6: Diagrama esquemático de las placas tectónicas en Sudamérica.

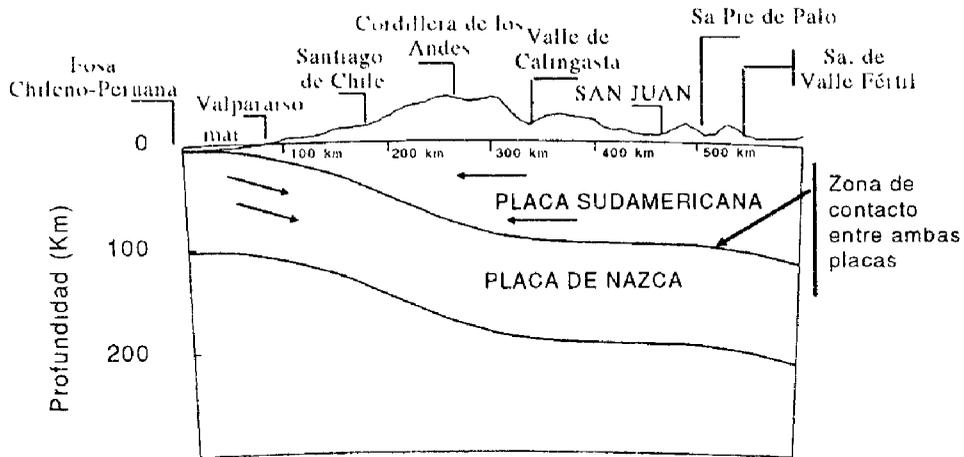


FIGURA 7: Disposición de las placas tectónicas en profundidad según el perfil A-A, indicado en la figura 6.

fosa oceánica) y culmina generalmente a grandes profundidades (hasta 700km) cuando la placa oceánica es indistinguible del manto. A lo largo de la zona de contacto de ambas placas se generan grandes esfuerzos que provocan las dislocaciones súbitas y violentas ya descritas y, consecuentemente, actividad sísmica.

El oeste de la República Argentina se encuentra afectado por la convergencia de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana. Esta zona de contacto se ubica a lo largo de la costa Perú-Chile y es considerada la más larga del mundo (Figs.3 y 6).

La Placa de Nazca se mueve en sentido este y se sumerge (subduce) bajo la Placa Sudamericana, que se desplaza en sentido oeste. La velocidad relativa con que se mueven ambas placas es de 11 cm/año.

La mayor zona de contacto entre Placas en el mundo es la llamada Cinturón de Fuego del Pacífico (Fig.5), a la que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. Aquí han tenido lugar los mayores terremotos registrados instrumentalmente en este siglo (Chile 1960 y Alaska 1964); el 10% restante queda comprendido en la zona del Mediterráneo (entre Europa y Africa), algunas zonas de Asia y la actividad sísmica de las Dorsales Oceánicas. La mayor cantidad de sismos ocurre en los bordes o contactos de las placas y en general son los de mayor magnitud. Debido a los grandes esfuerzos compresivos, también se generan terremotos lejos del contacto entre placas, generalmente asociados a fallas geológicas activas (terremotos del 15 de enero de 1944 y 23 de noviembre de 1977, en la provincia de San Juan).

En general, para los estudios más comunes de diseño estructural en zonas sísmicas, se consideran fallas activas a aquéllas que han experimentado, por lo menos, un terremoto en los últimos 10.000 años.

SISMOGRAFOS Y SISMOGRAMAS

Los **sismógrafos** se desarrollaron con el fin de registrar, medir y analizar las ondas sísmicas que produce un terremoto. El más antiguo data de fines del siglo pasado con un mecanismo similar a los actuales. El principio de funcionamiento está basado en una masa libremente suspendida de un marco rígido. La masa puede oscilar como un péndulo vertical y dicha oscilación se transcribe, por

medio de un estilete, sobre papel ahumado o fotosensible arrollado sobre un tambor giratorio (Fig.8). Al registro resultante se le denomina **sismograma**, el cual es un gráfico de las ondas sísmicas registradas en el lugar, en función del tiempo (Fig.9).

En la actualidad se ha logrado una gran precisión y rapidez en el análisis de la actividad sísmica, con la incorporación de la computadora.

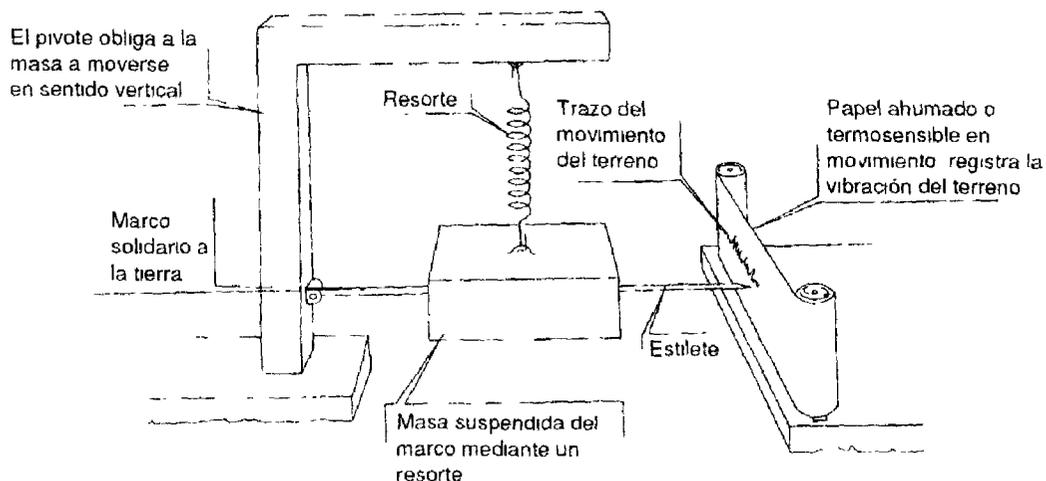


FIGURA 8: Esquema simplificado ilustrando el principio de funcionamiento de un sismógrafo.

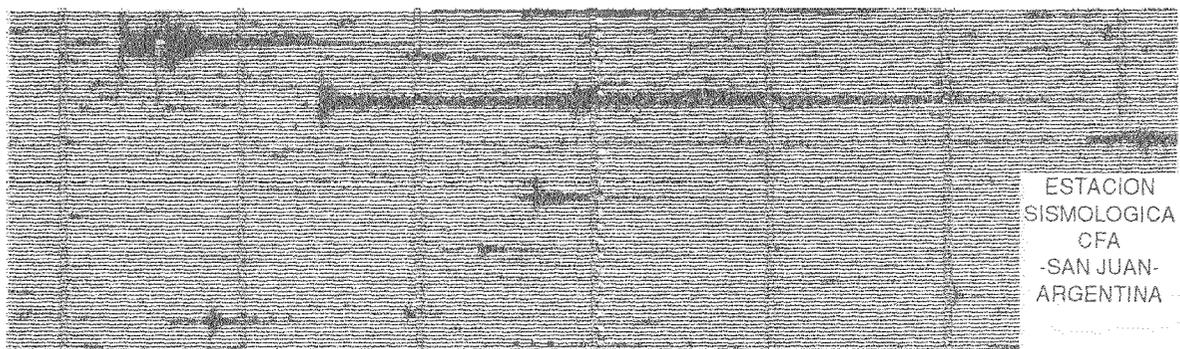


FIGURA 9: Sismograma obtenido en la Estación Coronel Fontana (CFA), ubicada en la localidad de Caucete, San Juan.

ONDAS SISMICAS

En la teoría de propagación de ondas elásticas en medios sólidos, se consideran dos tipos de ondas principales que se generan en un terremoto: **ondas P (Primarias)** y **ondas S (Secundarias)**. Estas son ondas internas que pueden viajar a través del interior de la tierra; la onda P es la primera que se percibe y la onda S es la segunda. Esta última posee más energía que la P y es la que produce los mayores daños a las construcciones.

Existen, además, otros dos tipos de ondas que se generan por composición de las anteriores: son las **ondas superficiales Love** y **Rayleigh**, que se transmiten en dirección paralela a la superficie terrestre por los primeros kilómetros de profundidad.

REPLICAS

Comúnmente, a todo sismo perceptible le suceden otros con el mismo origen, que se denominan **réplicas**. No obstante ser, en general, menos violentos que el sismo principal, pueden ocasionar derrumbes en construcciones dañadas o debilitadas por éste.

MAGNITUD

La **magnitud** es un valor instrumental relacionado con la energía elástica liberada en un terremoto por las ondas interiores o superficiales. Es independiente de la distancia entre el hipocentro y el sitio de observación y se obtiene del análisis de las ondas sísmicas que se registran en un sismograma. La escala de medición es la de Richter, que es abierta (no tiene límites). No se han efectuado mediciones de terremotos que hayan excedido una magnitud de 8.6. Ejemplos de terremotos de gran magnitud registrados instrumentalmente en los últimos años son los de Chile 1960 y Alaska 1964, que alcanzaron una magnitud de 8.5 en la escala de Richter.

INTENSIDAD

La **intensidad** es una medida de los efectos generados por un terremoto.

La escala tiene carácter subjetivo y varía de acuerdo con la severidad de las sacudidas producidas en un lugar determinado. Tiene en cuenta los daños causados en las edificaciones, los efectos en el suelo y en las personas. Si bien existen diferentes escalas de intensidad, la que más se utiliza en el mundo occidental es la de Mercalli Modificada (M M), que es cerrada y contiene doce grados (I al XII).

GRADOS DE LA ESCALA MERCALLI MODIFICADA

- I** *No es percibido por las personas, pero sí registrado por los sismógrafos.*
- II** *Lo perciben personas en reposo, en pisos superiores o situadas favorablemente*
- III** *Sentido en el interior de los edificios. Se perciben vibraciones como las producidas por el paso de un camión liviano, pero no se puede reconocer si se trata de un terremoto. Los objetos oscilan levemente. Se puede estimar su duración.*
- IV** *Se percibe en el interior de los edificios, reconociéndose que se trata de un sismo. Los objetos colgantes oscilan y las puertas y ventanas crujen. Se producen vibraciones como las producidas por el paso de un camión pesado. En la parte superior de este grado crujen las cabriadas y paredes de madera y tintinean los vasos y la loza.*
- V** *Se percibe en el exterior de los edificios. Las personas dormidas se despiertan. Se agita la superficie de los líquidos, y parte de los mismos se vuelca. Los objetos chicos se desplazan o se caen. Las puertas oscilan. Los relojes de péndulos se detienen, se altera su funcionamiento o se ponen en marcha. Se puede estimar la dirección.*
- VI** *Es percibido por todas las personas. Se agrietan las mamposterías malas (D) y los revoques débiles. Se mueven o tumban los muebles. Se rompen vasos, platos y vidrios de ventanas. Se salen de las repisas los adornos, libros, etc., y se caen los cuadros colgados de las paredes. Tañen las campanas de iglesias y escuelas. Se mecen los árboles y los arbustos.*
- VII** *Resulta difícil mantenerse en pie. Se rompen las mamposterías malas (D), se producen algunas grietas en mamposterías de calidad regular (C).*
- VIII** *Se hace difícil conducir un automóvil. Las mamposterías regulares (C) se dañan y en parte se caen. Se producen algunos daños en las mamposterías buenas (B), pero ninguno en las mamposterías muy buenas (A). Rotación y/o caída de chimeneas de viviendas o de fábricas, caída de monumentos,*

torres y tanques elevados. Las columnas de las casas se salen de sus fundaciones si no están ancladas. Se tumban tabiques débiles. Se rompen ramas de los árboles. Cambia el caudal o la temperatura de fuentes naturales y pozos de agua. Se producen grietas en terrenos húmedos y pendientes fuertes.

- IX** *Hay pánico general. Se destruye la mampostería "D", se daña fuertemente la mampostería "C", parte de ella con completa destrucción. Se daña seriamente la mampostería "B". Las estructuras mal ancladas se desplazan de la fundación. Hay serios daños en los depósitos. Se rompen las tuberías subterráneas. Se observan grietas importantes en el terreno. En terrenos aluvionales se producen eyecciones de arena y barro formando cráteres de arena.*
- X** *Se destruyen la mayoría de las construcciones de mampostería y algunas estructuras de madera bien construídas. Hay daños serios en los diques y terraplenes; grandes deslizamientos. El agua sale de su cauce en los canales, ríos y lagos. En las playas y en terrenos llanos se producen desplazamientos horizontales de arena y barro. Se doblan ligeramente los rieles ferroviarios.*
- XI** *Grandes grietas en la tierra y deslizamientos. Las tuberías subterráneas se destruyen completamente. Los rieles ferroviarios se doblan fuertemente. Grandes cantidades de agua son eyectadas mezcladas con lodo y arena.*
- XII** *Catástrofe. Destrucción casi total. Se producen desplazamientos de grandes bloques de roca y cambios en los niveles del terreno. Objetos lanzados al aire.*

Se indican con las letras A, B, C y D, diferentes clases de mampostería, conforme con las especificaciones siguientes:

- **Mampostería "A":** Construída con buenos materiales, buena mano de obra y buen proyecto. Reforzada con acero u hormigón armado. Proyectada para resistir esfuerzos laterales.
- **Mampostería "B":** Buena mano de obra y buen mortero. Reforzada, pero no proyectada para resistir fuerzas laterales.
- **Mampostería "C":** Mano de obra y morteros corrientes. No demasiado débiles. Falta de amarre en las esquinas. No reforzada ni proyectada para resistir fuerzas horizontales.

■ **Mampostería "D":** Materiales débiles como adobes, morteros pobres. Mala mano de obra. Débil horizontalmente.

La determinación de la intensidad en un solo punto de la zona afectada por un terremoto no aporta demasiados datos a su estudio. Lo que se hace después de un sismo, es determinar su grado de intensidad en diferentes lugares de la zona y construir luego las curvas de igual intensidad llamadas isosistas, que dan una idea aproximada de la zona siniestrada.

En general, los contornos resultantes muestran un máximo en la zona epicentral, con regiones de menor intensidad rodeándola. Las isosistas son más o menos concéntricas respecto al epicentro (Fig. 10).

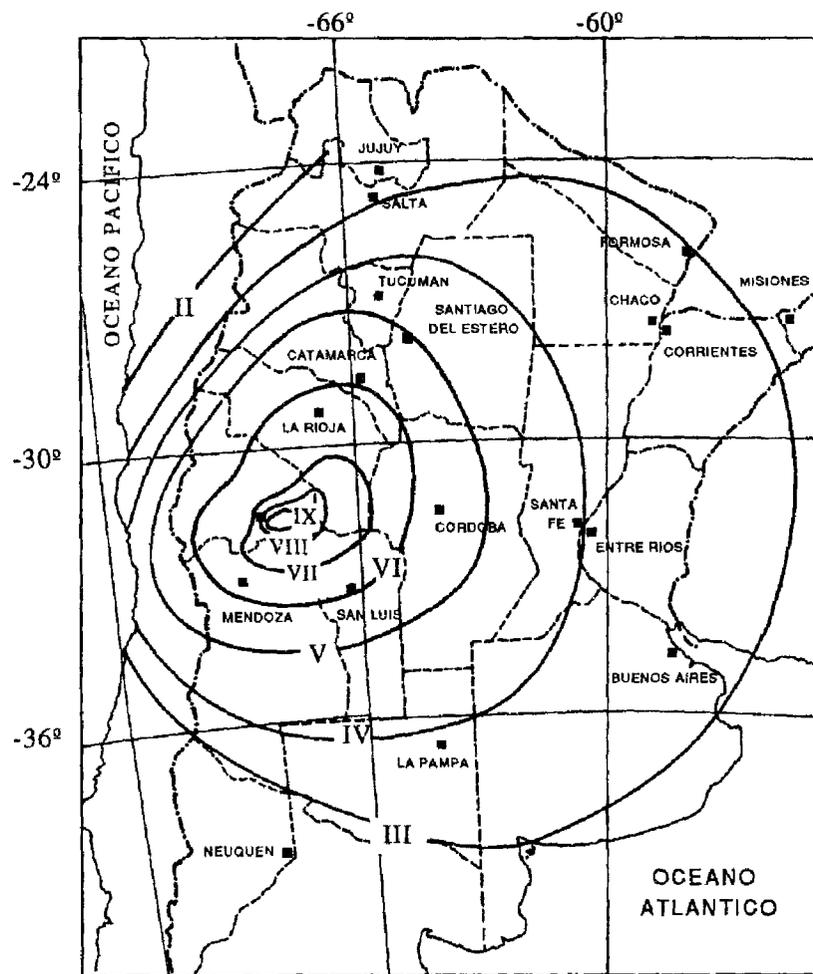


FIGURA 10: Isosistas para las intensidades MM II a IX del terremoto del 23-11-77 Caucete, San Juan.

I-2 INGENIERIA SISMORRESISTENTE

INTRODUCCION

La **ingeniería sismorresistente** es la rama de la ingeniería que estudia el comportamiento de las construcciones ante los sismos, así como los materiales y métodos constructivos, para fijar pautas que permitan proyectar, construir y rehabilitar obras para que se comporten adecuadamente ante los sismos, a fin de mitigar los efectos que estos fenómenos producen. Dichas pautas se traducen en publicaciones, normas, códigos y reglamentos relacionados con las construcciones sismorresistentes.

PREVENCION SISMICA

La actividad sísmica en un lugar es un hecho continuo en el tiempo, cuyo control no está hoy al alcance del hombre. Hay que tener en cuenta que no es el propio sismo el que provoca víctimas; éstas se deben a la interacción entre el evento sísmico y el ambiente creado por el hombre (edificios, puentes, presas de embalse, etc.).

A fin de reducir los daños provocados por los terremotos se debe controlar y reducir el **riesgo sísmico**, entendiendo por tal a la interacción del **peligro sísmico**, que está dado por la actividad sísmica del lugar, y la **vulnerabilidad sísmica**, que es función del ambiente creado por el hombre y del grado de preparación para actuar ante el sismo.

Los daños producidos por un terremoto se pueden dividir en dos grandes grupos: materiales y humanos. Los primeros se ven reflejados en los daños ocasionados a las construcciones; mientras que los daños humanos, en el número de víctimas, efectos psicológicos, etc.

Para reducir el riesgo sísmico se debe disminuir la vulnerabilidad, que se puede lograr a través de dos métodos:

1- **Predicción sísmica:** Consiste en el anuncio del evento con cierto tiempo de anticipación. Esto permitiría reducir el número de víctimas, pero no los daños materiales. Actualmente, a nivel mundial, no se han logrado métodos confiables de predicción de sismos.

2- **Prevención sísmica:** Procura reducir la vulnerabilidad de un lugar a

los eventos sísmicos a través de dos aspectos fundamentales que son: construcciones sismorresistentes, logradas con la aplicación de códigos actualizados y conciencia sísmica de la población, cuyo fin es el de disminuir las víctimas ocasionadas por las propias actitudes del hombre ante el fenómeno (pánico, imprudencia, etc.). De esta manera se logran mitigar tanto los daños materiales como humanos.

NORMAS SISMORRESISTENTES

Es el conjunto de prescripciones que contienen requerimientos para proyectar, construir y rehabilitar obras civiles en un determinado lugar, a fin de dotarlas de una razonable seguridad ante los sismos. En San Juan, como consecuencia del terremoto del 15 de enero de 1944, se puso en vigencia el Código de Edificación de la Provincia, que contenía requerimientos sismorresistentes. A partir de esa fecha la Nación encaró la reconstrucción de la provincia. El control de la aplicación de dicho código fue asumido por el Consejo de Reconstrucción de San Juan, posteriormente transformado en Consejo Nacional de Construcciones Antisísmicas y Reconstrucción de San Juan (CONCAR). En el año 1973, la provincia toma dichas funciones a través de la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano, que las ejerce actualmente. En 1972 se crea el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), que tiene, entre otras funciones, la de elaborar los Reglamentos para Construcciones Sismorresistentes para el país y mantenerlos actualizados.

Se pueden resumir los objetivos de los reglamentos para construcciones sismorresistentes en dos aspectos fundamentales que son:

- ❖ - Evitar la pérdida de vidas humanas.
- ❖ - Reducir los daños en las construcciones.

CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES

Las **construcciones sismorresistentes** son aquéllas dotadas de estructuras capaces de resistir adecuadamente los efectos provocados por un terremoto. No existen construcciones antisísmicas sino construcciones sismorresistentes.

Una construcción proyectada y construída de acuerdo con los reglamen-

tos, si bien puede sufrir daños de distinta consideración, debe mantenerse habitable ante sismos de frecuente ocurrencia y no derrumbarse con sismos severos, a fin de evitar la pérdida de vidas humanas.

Debe tenerse presente que el concepto de construcción sismorresistente involucra un conjunto de factores: diseño, materiales, ejecución, etc. No existen los materiales antisísmicos, por lo que no puede considerarse que una construcción sea razonablemente segura sólo por los materiales que la constituyen; por ejemplo, una construcción de ladrillo no es necesariamente sismorresistente.

Los reglamentos sismorresistentes se actualizan permanentemente con base en los nuevos conocimientos sobre el fenómeno sísmico y el comportamiento de las estructuras; debido a ello, una obra ejecutada de acuerdo con las normas vigentes en su momento, puede necesitar una revisión a la luz de los nuevos conocimientos, a fin de asegurar que cumpla adecuadamente con los objetivos de la construcción sismorresistente.

