

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 8</b>
<b>1991</b>	<b>SISMOS</b>	<b>OBJ. 3.1</b>

### 3.1. ASPECTOS TEORICOS DE LOS SISMOS Y EL EFECTO DE LAS ONDAS SISMICAS EN LAS INFRAESTRUCTURAS.

#### 3.1.1. EL ORIGEN DE LOS SISMOS

La especialidad de Rescate en Espacios Confinados tiene su origen en los efectos de los sismos, dado que éstos son la causal provocadora de colapsos en las diferentes estructuras construidas por el hombre.

#### Conceptos:

Sismo o seísmo es una palabra de origen griega que abarca otros vocablos dentro de su contexto, como son: terremoto (del latín terramemotus) o temblor.

Sismo es el "movimiento originado por fenómenos geológicos o causas artificiales, en un punto de la corteza terrestre, y que se propaga en forma de ondas concéntricas a dicho punto, haciendo oscilar la superficie de la tierra en diferentes direcciones" (1).

Temblor es "un evento sísmico percibido en la superficie como una vibración o sacudida del terreno, sin causar daño y destrucción" (2); Terremoto es el "evento destructivo que causa daños severos y víctimas" (3).

Todo terremoto es un temblor, pero no todo temblor es un terremoto.

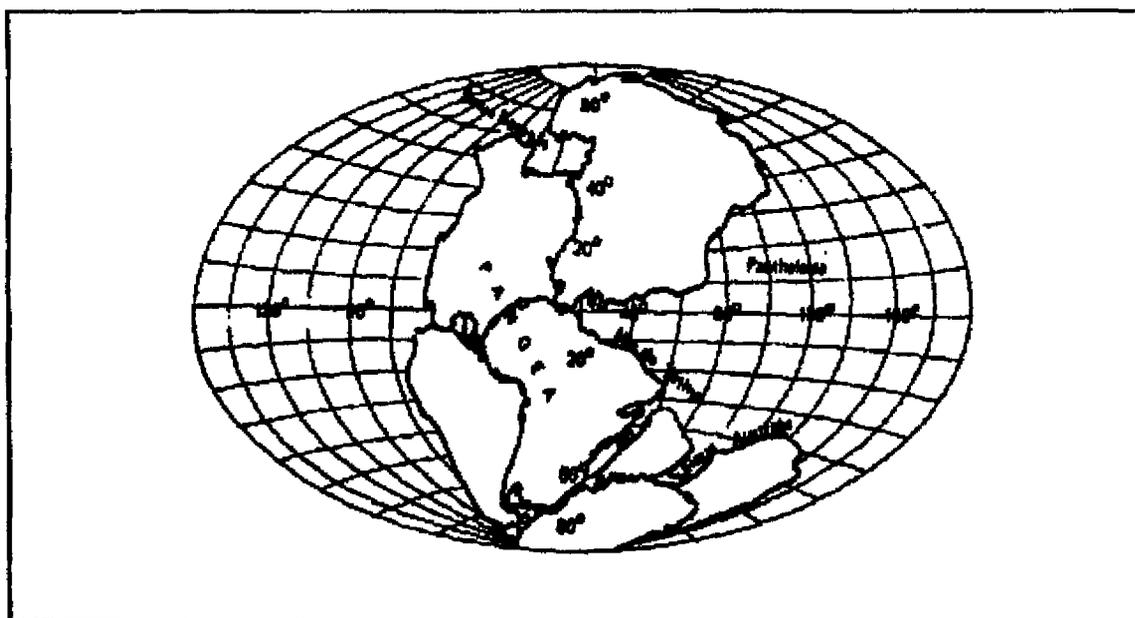
#### 1. Descripción de la teoría de la deriva continental.

La teoría de la deriva continental fue dada a conocer en el año 1912 por el Científico Alemán Alfred Wegener en la cual argumenta que los continentes se desplazan como gigantescos bloques de corteza sobre un manto líquido.

La teoría de Wegener indica que "hace unos doscientos millones de años, todos los continentes estuvieron unidos y formaron una sola masa continental", al que él llamó Pangea, palabra derivada del Griego "todas las tierras" (Fig. 1).

Esta teoría trajo muchas controversias en medios científicos; pero durante las tres últimas décadas, especialmente en las ramas de geología, sismología y oceanografía, han llegado a corroborar las ideas básicas de Wegener; y aunque parte de sus teorías han sido revisadas, modificadas y otras han resultado equivocadas, los puntos importantes de su argumento se han confirmado.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.9
1991	SISMOS	OBJ.3.1



**Figura 1** El continente universal Pangea, tal como era hace doscientos millones de años, de acuerdo con la teoría de Wegener.

## 2. Clasificación de los sismos.

Los sismos se pueden clasificar en tectónicos, volcánicos y plutónicos.

Los sismos que nos afectan de menor o mayor grado y demuestran mayor interés para nosotros son los de origen tectónico y volcánico. Los sismos tectónicos "implican una deformación de la corteza terrestre en forma de pliegues o fracturas"; se llaman también tectónicos o de carácter estructural (del griego tekto= construir)" (4). Son éstos los más importantes, por lo que la energía liberada es extraordinariamente mayor que la de los otros dos tipos, y sus características normalmente son más destructivas.

El origen se asocia con la deformación de la corteza terrestre, estudio que se complementa con el análisis de las teorías "tectónicas de placas" y de "rebote elástico" que se señala más adelante.

Los sismos de origen volcánico se producen por fuerzas provenientes de fracturas, explosiones o fallas en las inmediaciones del edificio volcánico, como resultado de los movimientos de lava dentro de la cámara magmática y se caracterizan por ser de baja

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 10
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

magnitud e intensidad, por lo que sus efectos son sentidos en los alrededores del volcán.

### 3. Teoría tectónica de placas

Esta teoría muy relacionada con Wegener, dice que "la corteza terrestre está dividida en siete u ocho gigantescas placas que se mueven errática y despaciosamente sobre el globo, llevando consigo mares y continentes", cuando las placas se rozan y aún chocan entre sí, a estos eventos se les denomina sismos interplaca.

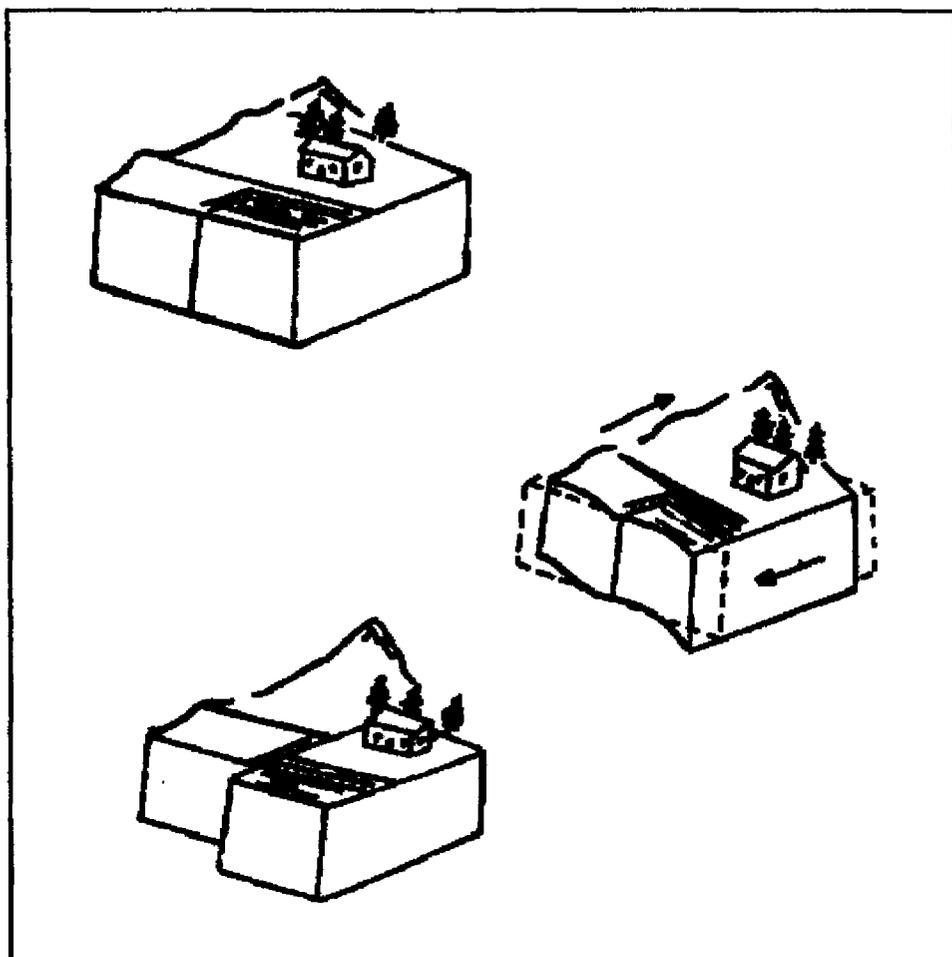


Figura 2 De acuerdo con la Teoría de Rebote Elástico, una falla incapacitada de movimiento hasta que la presión se haya hecho en las rocas o en cualquier lado, esta presión es activada por el cambio gradual de la corteza de la tierra.

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 11</b>
<b>1991</b>	<b>SISMOS</b>	<b>OBJ. 3.1</b>

#### 4. Teoría de rebote elástico.

Como se aprecia en la figura 2, la tierra está dividida y se mueve provocando roces entre las diferentes placas; de esto habla la teoría de rebote elástico, y dice que los "esfuerzos orogénicos causan deformaciones de la corteza terrestre y, acumulan energía potencial en forma de esfuerzos por compresión o tensión. Eventualmente, puede acontecer que la magnitud de la deformación con la tensión o compresión consiguiente es tal que, excede la resistencia de las rocas de la corteza terrestre y se produce una fractura, es decir, hay un desplazamiento o deslizamiento de un lado de la corteza con respecto al otro a lo largo del plano de una falla.

En la fractura, las rocas adyacentes al lado de la falla saltan a una posición de reposo, iniciándose vibraciones que se propagan por el medio elástico de la estructura terrestre y son el sismo en sí.

#### 3.1.2. LAS ESCALAS SISMICAS

En el campo de los sismos se han diseñado a través del tiempo, innumerables escalas que han dado parámetros sobre los efectos causados, basándose unas veces en la violencia de éstos y en la cantidad de energía emitida.

Por ello, se han clasificado las escalas sísmicas en: intensidad y magnitud.

##### 1. Escalas de intensidad

La escala de intensidad sísmica se puede definir como la fuerza o violencia del movimiento de la tierra en una región, en término de los efectos que provoca el sismo en la comunidad, en las obras tanto naturales como artificiales de un lugar.

La determinación del grado de intensidad no se puede hacer con un solo punto del área afectada, es necesario la determinación de diferentes lugares, y construir luego las curvas de igual intensidad sísmica o curvas isosísticas que dan una idea inmediata de esta zona (Fig. 3).

Los contornos resultantes, por lo general, muestran un máximo en la zona epicentral, con regiones de menor intensidad rodeando esta área.

Las irregularidades observadas en las curvas isosistas están relacionadas, generalmente, con zonas de condiciones geológicas diferentes, mostrándose a partir de las curvas las relaciones de elasticidad de las diferentes formaciones geológicas.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.12
1991	SISMOS	OBJ.3.1

Varias escalas se han ideado, "las más importantes dividen la intensidad de 1 a 3, de 1 a 10, y de 1 a 12, llamándose la de triple escala, la de Rossi Forel, y la de Mercalli Cancali".(5)

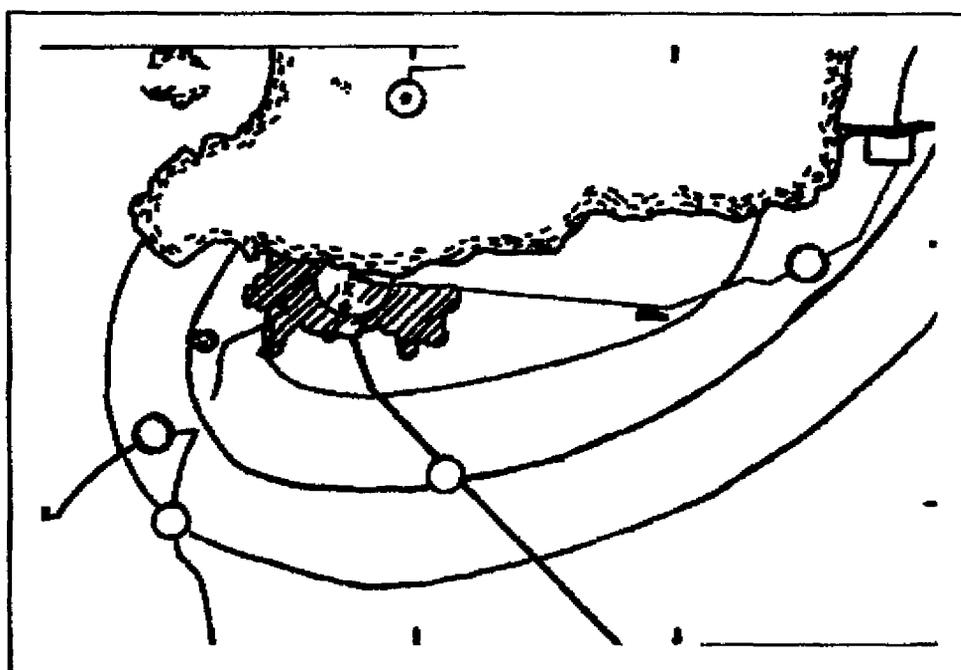


Figura 3 Mapa de isosistas del terremoto de Managua, Nicaragua, del 23 de diciembre de 1972 (M=6,2). La máxima intensidad en el área epicentral alcanzó un grado IX en la escala Mercalli Modificada. (Adaptado de J.W. Dewey et al., 1973).

a. Escala de intensidad Mercalli modificada (MM) (6)

#### CONSTRUCCION

#### CARACTERISTICAS

- |        |   |
|--------|---|
| Tipo A | - Estructuras de acero y hormigón armado bien diseñadas, calculadas para resistir fuerzas laterales. Buena construcción, materiales de primera calidad. |
| Tipo B | - Estructuras de hormigón armado, no diseñadas en detalle para resistir fuerzas laterales. Buena construcción y materiales.                             |

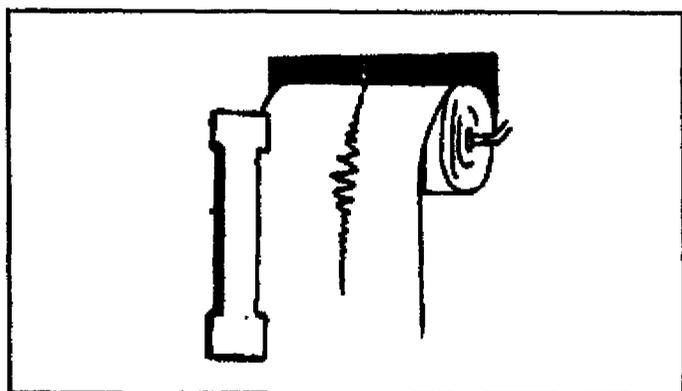
<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG.13</b>
<b>1991</b>	<b>SISMOS</b>	<b>OBJ.3.1</b>

Tipo C - Estructuras no tan débiles como para fallar la unión de las esquinas, pero no reforzadas ni diseñadas para resistir fuerzas horizontales. Construcción y materiales corrientes.

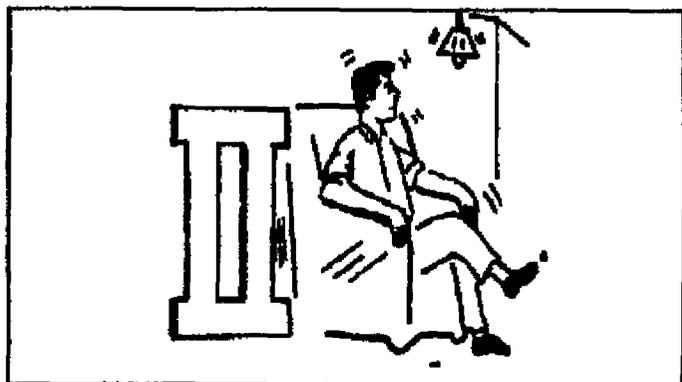
Tipo D Construcciones de materiales pobres, tal como el adobe, baja calidad de construcción. No resistente a fuerzas horizontales.

**VALOR DE INTENSIDAD**

**DESCRIPCION**

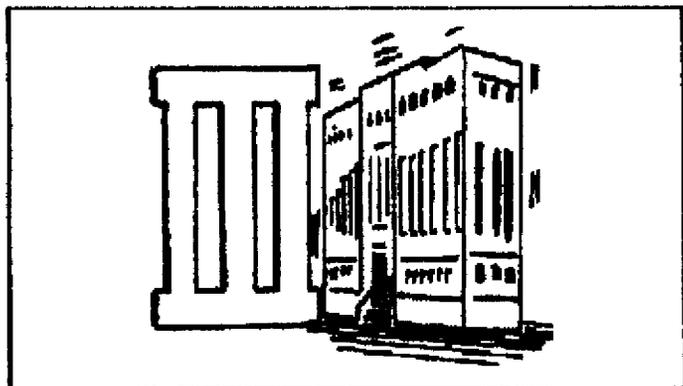


No es sentido por las personas. Es detectado sólo por instrumentos.

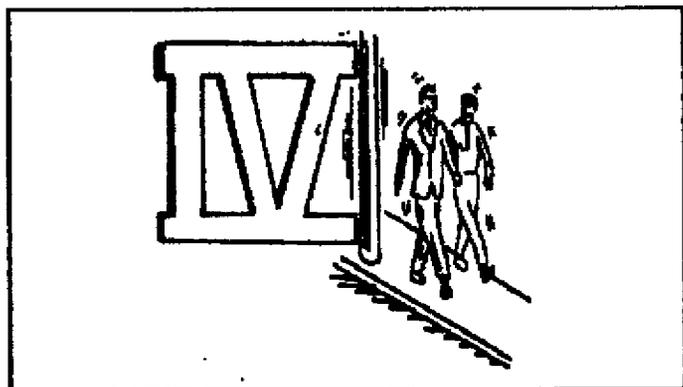


Es sentido por personas en posición de descanso, en pisos altos o situación favorable.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 14
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

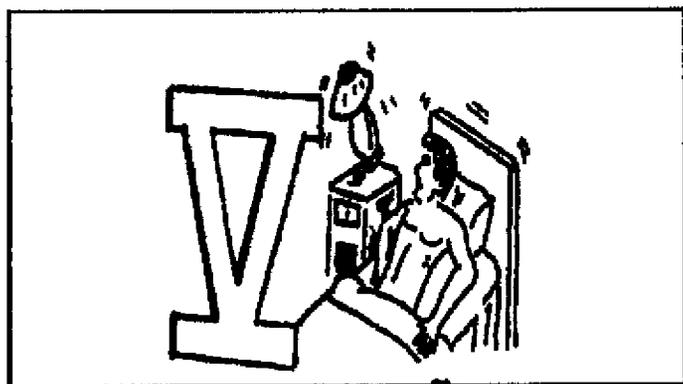


Es sentido en el interior. Los objetos suspendidos oscilan. Se siente vibraciones como si pasara un camión ligero. Su duración es apreciable. Puede no ser reconocido como un temblor.



Los objetos suspendidos oscilan. Se sienten vibraciones como el paso de un camión pesado o la sensación de sacudida, como de un balón golpeando las paredes. Los Automóviles parados se balancean. Las ventanas, los platos, las puertas vibran.

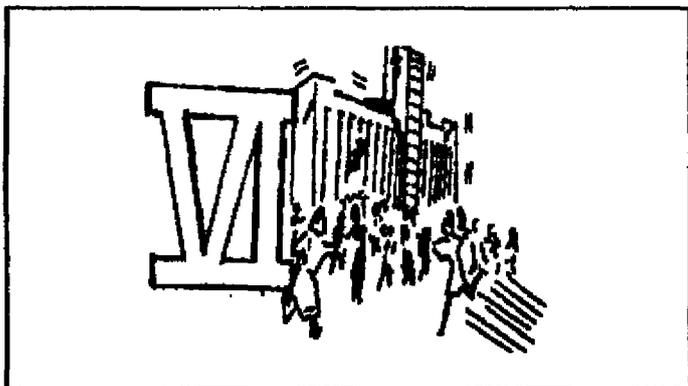
Los cristales tintinean. Los cacharros de barro se mueven. En el rango alto de IV, los tabiques y armazones de madera crujen.



Si se está al aire libre se aprecia la dirección. Los que están durmiendo se despiertan. Los líquidos se agitan, algunos se derraman. Los objetos pequeños inestables son desplazados o volcados. Las puertas se balancean, se cierran, se abren.

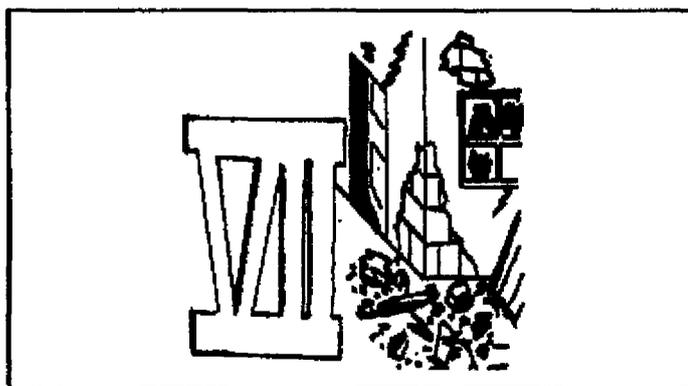
Los contraventanas y cuadros se mueven. Los péndulos de los relojes se detienen, comienzan a andar, cambian de período.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 15
1991	SISMOS	OBJ. 3.1



Es sentido por todos. Muchos se asustan y salen al exterior. La gente anda inestablemente. Las ventanas, los platos y los objetos de vidrio se rompen. Los adornos, los libros, etc. se caen de las estanterías. Los cuadros se desploman.

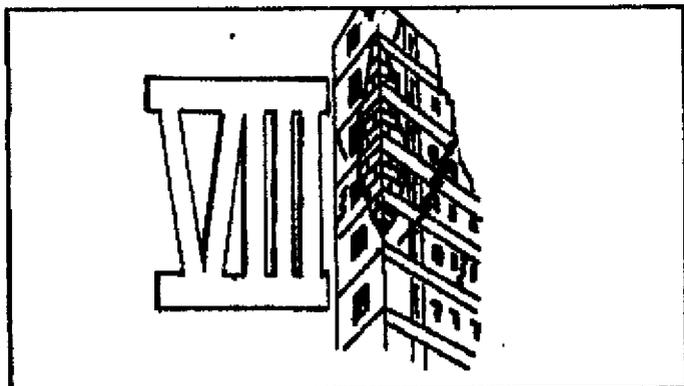
Los muebles se mueven y vuelcan. Los revestimientos débiles y las construcciones de tipo D se agrietan. La campanas pequeñas suenan (iglesias, colegios). Los árboles y los arbustos son sacudidos visiblemente.



Es difícil mantenerse en pie. Los conductores lo perciben. Los objetos suspendidos tiemblan. Muebles rotos. Los daños a edificios de tipo D incluyen grietas. La chimeneas débiles se rompen a ras del tejado.

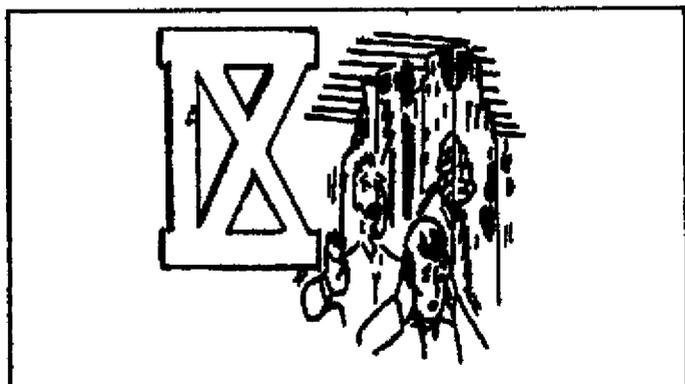
Se puede observar la caída de: cielos rasos, ladrillos, piedras, tejas, cornisas, también antetechos no asegurados y ornamentales de arquitectura. Se ven algunas grietas en edificios de tipo C, olas en estanques, agua enturbiada con barro, pequeños corrimientos y hundimientos de arena o montones de grava. Las campanas grandes suenan. Canales de cemento para regadío dañados.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 16
1991	SISMOS	OBJ. 3.1



Afecta la conducción de los vehículos. Se observan daños en edificios de tipo C, colapso parcial; Algún daño en construcciones de tipo B, nada en edificios de tipo A. Caída de algunas paredes de mampostería.

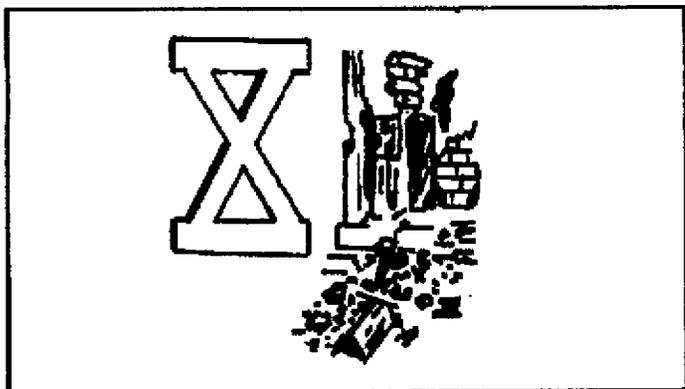
Giro, caída de chimeneas, rimeros de fábricas, monumentos, torres, depósitos elevados. La estructura de las casas se mueven sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos o arrancados. Ramas de árboles rotos. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes profundas.



Pánico general. Construcciones de tipo D destruidas; edificios de tipo C seriamente dañados, algunas veces con colapso total; edificio de tipo B con daños importantes. Daño general en los cimientos. Armazones arruinados. Daños serios en embalses.

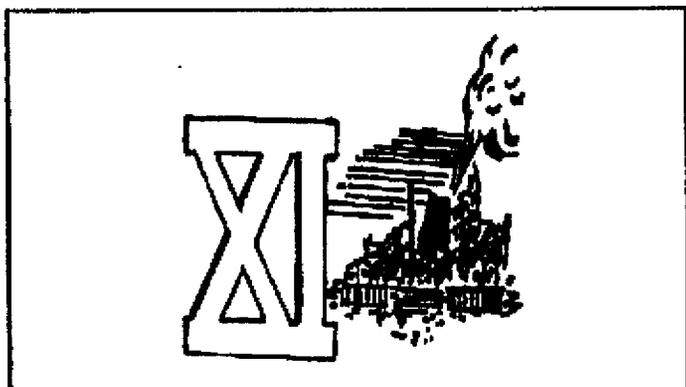
Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvial eyección de arena y barro, aparecen fuentes y cráteres de arena. (Fenómeno de licuefacción)

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 17
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

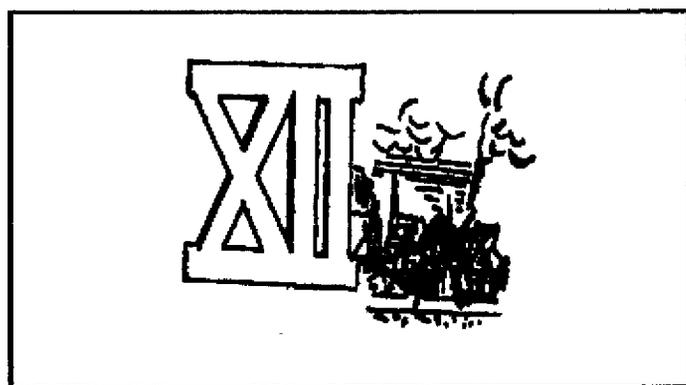


Aparece destruida la mayoría de las construcciones y estructuras de armazón con sus cimientos. Algunos puentes y edificios bien construidos en madera se observan destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes.

Grandes corrimientos de tierra. El agua rebalsa las orillas de los canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras planas. Rieles torcidos.



Rieles muy torcidos. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.



Daños prácticamente totales. Grandes masas de rocas desplazadas. Visuales y líneas de nivel deformadas. Objetos proyectados al aire.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 18
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

## 2. Escala de magnitud

La escala de magnitud se define como "la medida de la cantidad de energía liberada por el movimiento sísmico", es una medida objetiva relacionada con la energía.

La necesidad de disponer de una escala hizo que Charles F. Richter trabajara con centenares de terremotos para llegar a las siguientes conclusiones:

a) Si dos sismos ocurren en el mismo sitio, el más fuerte deja un trazo mayor en el papel de registro de una estación sísmológica; se aprecia, por tanto, la fuerza y energía de los sismos comparando la amplitud de las ondas registradas.

b) Si se dispone de varias estaciones diseminadas en una vasta región, con instrumentos idénticos que respondan de la misma manera a las distintas clases de ondas generadas por los sismos, se podrá hacer una comparación entre los trazos registrados de cada uno de ellos.

c) Con el fin de que todas las estaciones tengan un punto de referencia para comparar la energía o fuerza de los sismos en su foco, es necesario establecer un "sismo patrón" al que atribuyamos un valor cero (análogo a la escala de temperatura). Richter pensó que lo más práctico sería escoger, como patrón cero, un sismo muy débil, con el objeto de que cualquier otro tuviera un valor positivo; podría darse el caso de temblores tan pequeños que tengan magnitudes negativas, pero no es común en los trabajos de sísmología.

El temblor de "magnitud cero" tendría su epicentro a 100 Km. de distancia de la estación registradora y dejaría sobre el papel del sismógrafo un trazo de una micra, es decir 1/1000 mm.

La magnitud no mide directamente la energía, pero es evidente que un trazo mayor en un mismo sismógrafo fuera escrito por un temblor mayor, a igual distancia. Con la magnitud se puede deducir la energía liberada por el sismo.

La escala de magnitudes no tiene teóricamente ningún límite ni hacia las magnitudes más bajas, ni hacia las más altas. Un ejemplo podrá dar una idea de la gran fuerza y energía desarrollada en un gran evento.

Un sismo de magnitud 5.2 grados equivale a una explosión de 20 mil toneladas de TNT, que es la energía desarrollada por una bomba atómica. En cambio, uno de magnitud igual a 8 grados equivale a una explosión simultánea de 12 mil bombas atómicas tipo A, de 20 Kilotones de TNT cada una.

<b>PROHEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 19</b>
<b>1991</b>	<b>SISMOS</b>	<b>OBJ. 3.1</b>

### 3.1.3. EL FENOMENO DE LA PROPAGACION DE LAS ONDAS SISMICAS.

Las ondas sísmicas se propagan a partir de la zona donde se inició la ruptura, (llamada foco o hipocentro), en todas direcciones, haciendo vibrar la superficie de la tierra, son percibidas como temblores o terremotos.

#### 1. Ondas internas y de superficie

Las ondas de perturbación en un cuerpo sólido se dividen en dos clases: las ondas internas o de cuerpo y las ondas de superficie.

Las ondas internas se transmiten a través del interior de la tierra, y las otras se propagan, como su palabra lo indica, por la superficie terrestre (Fig. 4).

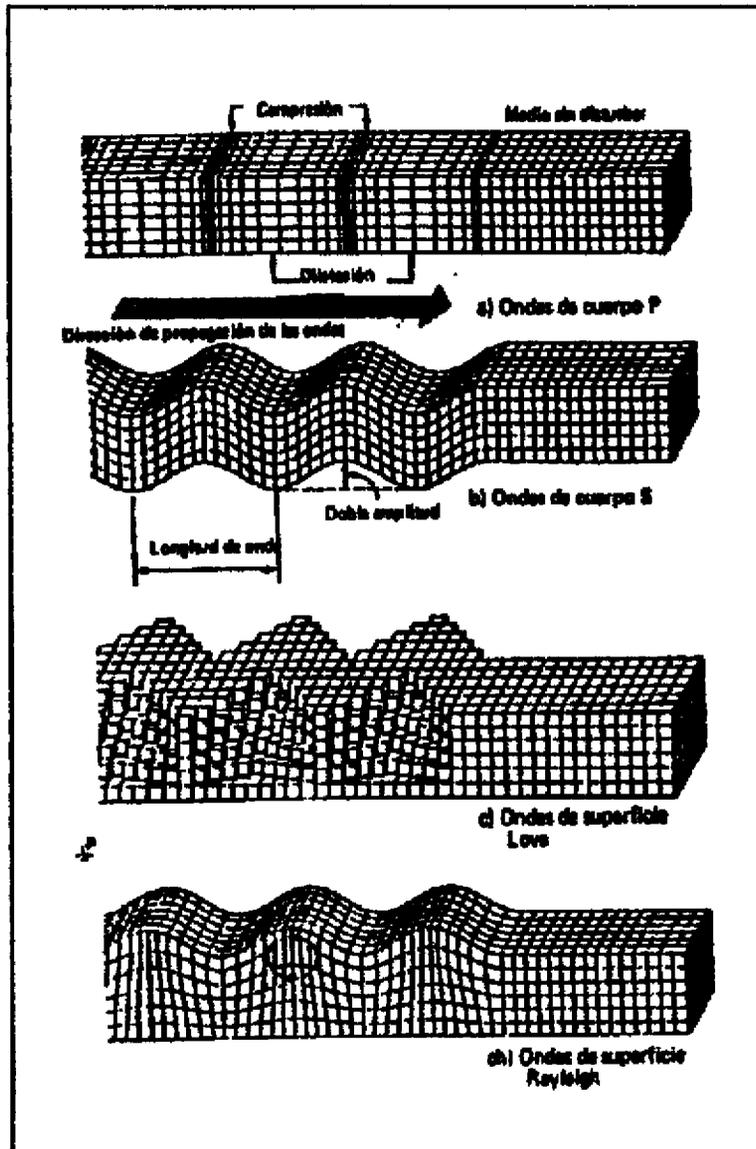
### 3.1.4. EL FENOMENO DE LA AMPLIFICACION

Según las leyes de atenuación, la intensidad del movimiento disminuye con la distancia del epicentro. Sin embargo, se conoce desde hace tiempo que la cuantía de los daños producidos por los terremotos no es solo función de magnitud del sismo y de la distancia epicentral, la sacudida del terreno varía significativamente de un sitio a otro, dependiendo de la conformación del suelo y de la forma del terreno (Fig. 5).

Muchas variables afectan la amplitud de las ondas sísmicas; en general se dice que los siguientes aspectos influyen en la intensidad y en las características del movimiento del terreno.

- Las condiciones geológicas locales del suelo.
- La topografía del terreno.
- El mecanismo del terreno y su direccionalidad.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 20
1991	SISMOS	OBJ. 3.1



**Figura 4** Tipos de ondas sísmicas: a) y b) representan ondas internas o de cuerpo que viajan a través del medio sólido de la tierra; c) y d) son ondas de superficie que se propagan sobre la superficie terrestre.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 21
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

## 1. Condiciones locales del suelo.

La ley de la conservación de energía permite concluir que el desplazamiento de las partículas, asociado a ondas sísmicas que se propagan en un cuerpo sólido, debe incrementarse al pasar de un medio de alta velocidad de propagación a un medio de baja velocidad.

Así, teóricamente se ha determinado que la aceleración asociada con las ondas sísmicas aumenta en la superficie al pasar de un lecho rocoso (alta velocidad) a través de un estrato de sedimentos blandos (baja velocidad); el aumento depende de la relación de las velocidades de propagación en los dos medios y de la profundidad de los dos lechos.

"Las condiciones locales del subsuelo tienen un efecto sobre la amplitud del movimiento en la superficie; en general, la intensidad de la sacudida del terreno y la cuantía de daños serán mayores en suelos blandos sin consolidar que en suelo firme o rocoso".(7)

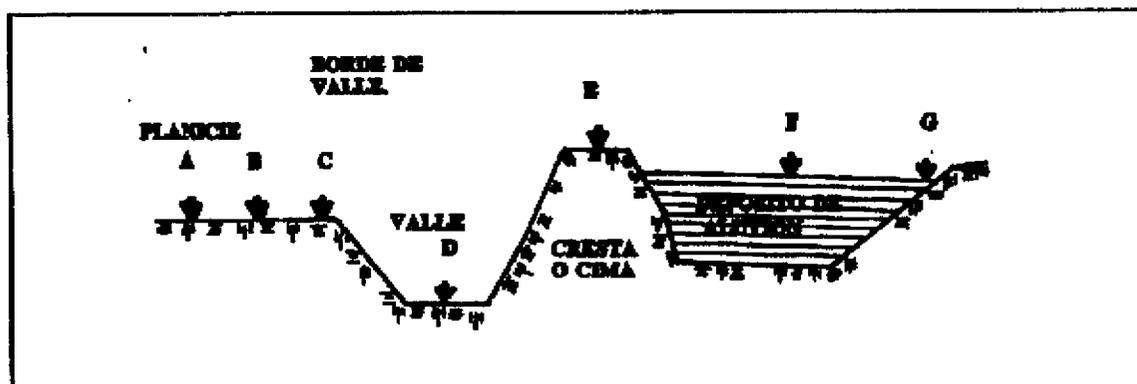


Figura 5

Esquema que ilustra los rasgos geológicos, topográficos y las condiciones locales de suelo. En los bordes de valles (C), en la cima de los montes (E) y en depósitos de suelos blandos (F) se han observado efectos de amplificación de las ondas sísmicas respecto a sitios en terreno firme y plano (A) y en el fondo de los valles (D) (F. Sauter).

## 2. Condiciones topográficas

La topografía del terreno influye significativamente en la intensidad del movimiento sísmico y puede mostrar un efecto amplificador o atenuador.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 22
1991	SISMOS	OBJ. 3.1

Se han realizado análisis teóricos cuyos resultados indican que ciertas formas topográficas, especialmente montes y valles, muestran varios grados de amplificación.

Dependiendo de las frecuencias, dirección y ángulo de incidencia de las ondas sísmicas, así aumenta la amplitud del movimiento. En los bordes de los valles, en la cresta y en las laderas de las colinas, (Fig. 5) se han determinado analíticamente un incremento en la intensidad de la vibración; en el fondo del valle, en cambio, se da un efecto atenuador de la amplitud del movimiento.

Por otro lado, en terremotos recientes se han observado y comprobado los efectos de amplificación, debido a irregularidades en la topografía del terreno, al observar un aumento en la cuantía de daños en edificaciones localizadas en la cima de las colinas y en el borde de los valles, comparado con edificaciones similares en terreno plano.

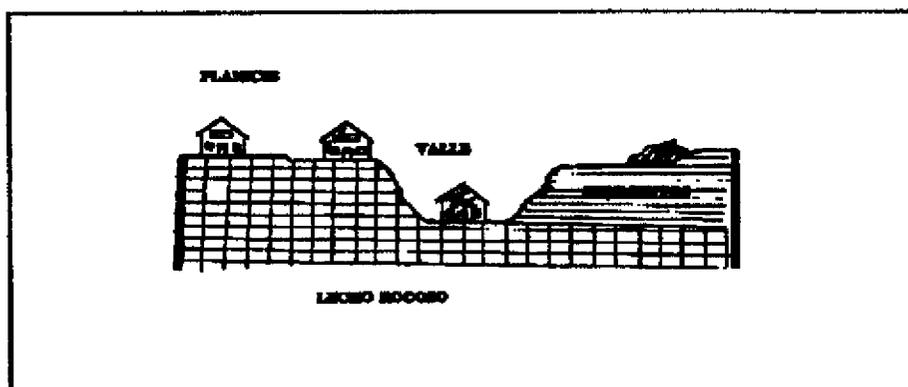


Figura 6 Esquema que ilustra el efecto de la topografía sobre la intensidad del movimiento del terreno.

En la figura 6 en los bordes de valles se ha observado un efecto de amplificación y en el fondo de los mismos un efecto de atenuación. Los depósitos de suelo blando amplifican también el efecto de la sacudida del terreno (Adaptado de R. Vogt, 1987).

### 3. Geología local

La predicción de futuros eventos sísmicos no se hace con base en la información sismológica; más bien, para evaluar la amenaza sísmica de una región es esencial recurrir a la evidencia geológica de la actividad sísmica pasada y a los registros históricos. Además, hay que considerar la información de las placas y otros factores adicionales.