

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 23</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ. 3.2</b>

### 3.2. DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y SU COMPORTAMIENTO ANTE LOS SISAMOS.

#### 3.2.1. ESTRUCTURAS MAS UTILIZADAS EN NUESTRO PAIS.

En nuestro país, actualmente, son utilizadas armaduras con base de concreto y varilla; en mampostería, block y arena; en ocasiones, ladrillo; su aplicación es puramente decorativo en la mayoría de las veces.

Actualmente, también se está utilizando con mucha frecuencia el concreto reforzado, que son piezas de cemento, arena, piedra y varilla de gran tamaño, y que conforman la estructura primordial del edificio; la diferencia es que dichas piezas son prefabricadas y trasladadas al lugar de la construcción.

Hay que recordar que gracias a la legislación del país con respecto a la construcción anti-sismos, podemos decir que muchos de nuestros edificios están aptos para soportar un sismo de alta intensidad, esto no significa que todas las edificaciones contemplan con rigor estas normas, lo que señalaremos más adelante.

#### 3.2.2. RECONOCER LOS EFECTOS SISMICOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS.

Es de suma importancia para el rescatista en espacios confinados, conocer los efectos sísmicos sobre nuestras estructuras, ya que esto lo orientará para poder identificar riesgos probables en una estructura colapsada como no colapsada; así mismo, podrá identificar en éstos amenazas a su integridad física así como a la de las víctimas, logrando apuntalar las estructuras en lugares adecuados para su protección.

##### 1. Las estructuras

Debemos definir el término "mampostería", que es equivalente a "albañilería"; se entiende como cualquier componente de una construcción, constituida a base de elementos a mano, tales como piedra ladrada, ladrillos sólidos y bloques de arcilla o concreto, unidos con cemento o argamasa de cal y arena.

En la construcción de edificios, es normal el uso de elementos de mampostería, tanto en paredes como en tabiques, para la división del espacio interior.

Las paredes de mampostería son elementos rígidos que pueden estar integrados o desligados del sistema resistente (columnas).

Se consideran elementos "secundarios", cuando no tienen funciones estructurales para resistir cargas gravitacionales y fuerzas

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 24</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ. 3.2</b>

laterales, denominadas también no estructurales "por no formar parte del sistema resistente."

En el análisis de edificios, ha sido práctica generalizada desprestigiar los elementos secundarios y no considerar las paredes de mampostería para determinar la respuesta sísmica del sistema estructural.

Edificios altos en concreto reforzado, con paredes de mampostería que rigidizan el sistema, han sido idealizados y analizados como pórticos flexibles, desprestigiar la influencia de la tabiquería. Esta práctica es contraproducente y puede tener consecuencias fatales. La presencia de la mampostería modifica significativamente el comportamiento de la estructura, invalidando los resultados del análisis dinámico más sofisticado y complejo; además, en un sismo puede ser causa de daños severos y cuantiosos a la propia albañilería y puede conducir a la falla de elementos estructurales y colapso del edificio.

Las paredes de mampostería, debidamente dispuestas y construidas, pueden representar para el sistema estructural una primera línea de resistencia y pueden contribuir, significativamente, al amortiguamiento de las vibraciones y a la disipación de energía sísmica.

No obstante, las paredes y tabiques de mampostería, integrados al sistema resistente, cambian significativamente las características dinámicas y el comportamiento sísmico del edificio; acortan el período natural de la estructura, modifican las rigideces y masas, restringen la deformación y el desplazamiento lateral del sistema.

Asimismo, una disposición irregular de la tabiquería puede generar asimetría en planta e inducir efectos torsionales de importancia no considerados en el análisis.

## **2. Edificios de planta baja flexible o piso blando.**

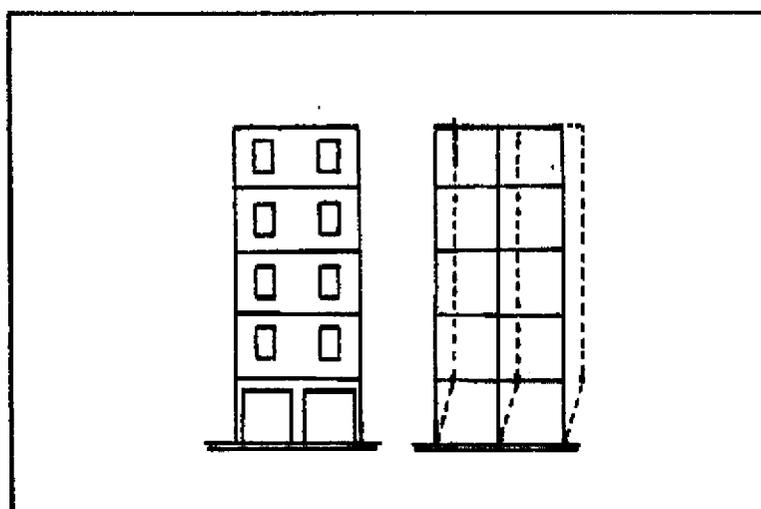
Los edificios altos, con un sistema resistente a base de pórticos flexibles de concreto reforzado, suelen tener en los pisos superiores tabiques y paredes de mampostería integradas a la estructura, especialmente en edificaciones destinadas a vivienda.

La planta baja es, generalmente, un espacio libre para comercio, estacionamiento u otros requerimientos arquitectónicos, y se le conoce como "planta baja flexible", o en forma genérica como "piso blando".

Los niveles superiores se modifican así, mediante la inclusión de la tabiquería en un sistema rígido; la energía sísmica tiende a ser disipada por deformación inelástica solamente a nivel de

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG.25</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ.3.2</b>

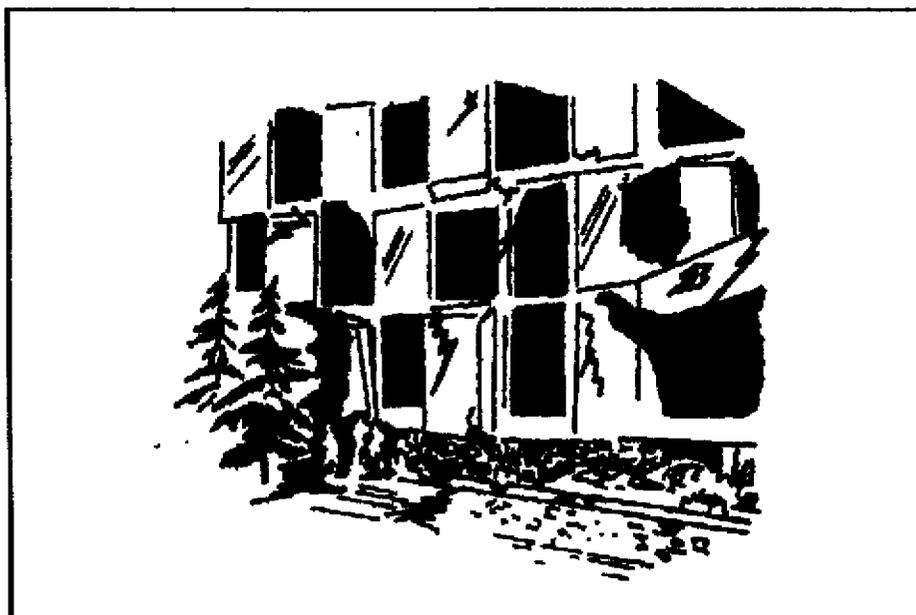
planta baja (Figura 7), conduciendo a una excesiva demanda de ductilidad concentrada en pocos elementos; en este caso, en las columnas del primer piso pudiendo, a su vez, dar lugar a la formación de mecanismos de colapso.



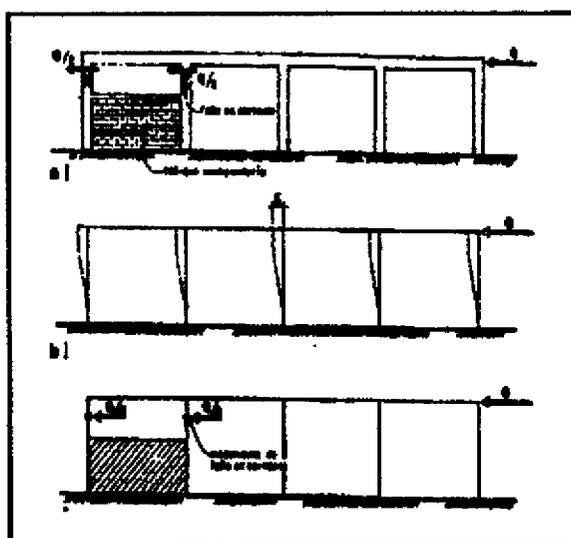
**Figura 7** Edificio con planta baja flexible y pisos superiores rigidizados por mampostería. La energía sísmica es disipada por deformación de las columnas de la planta baja, pudiendo conducir a un mecanismo de colapso.

La figura No.8. muestra un ejemplo de colapso de un edificio a causa del terremoto de San Salvador producido en el año 1986, debido al efecto de una planta baja flexible; ejemplos similares se han dado en los terremotos de Caracas en 1967, Managua en 1972 y México en 1985.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 26
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2



**Figura 8** Colapso de un edificio de cuatro pisos con planta baja flexible - Edificio Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de El Salvador, terremoto San Salvador, 1986.



**Figura 9** Efecto de columna corta.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.27
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ.3.2

En la figura 9 se observa: a)Pórtico restringido parcialmente por tabiques de mampostería b)Libre deformación del pórtico sin restricción de tabiques c)Deformación restringida por tabique y mecanismo de falla en cortante.

### 3. Efectos de columna corta.

Frecuentemente, las paredes integradas a las estructuras son de altura menor que los elementos estructurales verticales que las confinan, por ejemplo, cuando se dispone bajo las ventanas parapetos de mampostería (Figura 9 y 10).

En estos casos, los elementos de mampostería acortan la longitud de las columnas, modificándolas en elementos rígidos que absorben una mayor parte de las fuerzas laterales, dando lugar a una demanda de ductilidad excesiva, concretada en pocos elementos.

La falla de elementos estructurales debido al efecto de "columna corta" ha sido observada con gran frecuencia en terremotos recientes (Figura 11 y 12) y, en muchos casos, esta falla ha conducido al colapso de edificios.

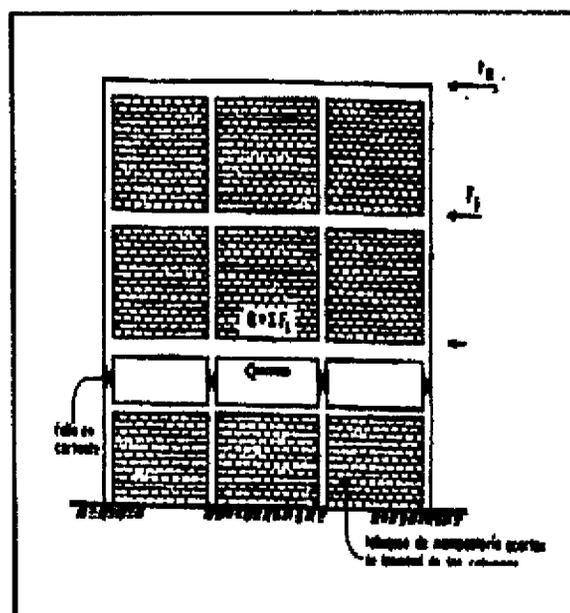


Figura 10 Efecto de columna corta en un edificio de varios pisos, con columnas restringidas por tabiques de mampostería.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 28
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2

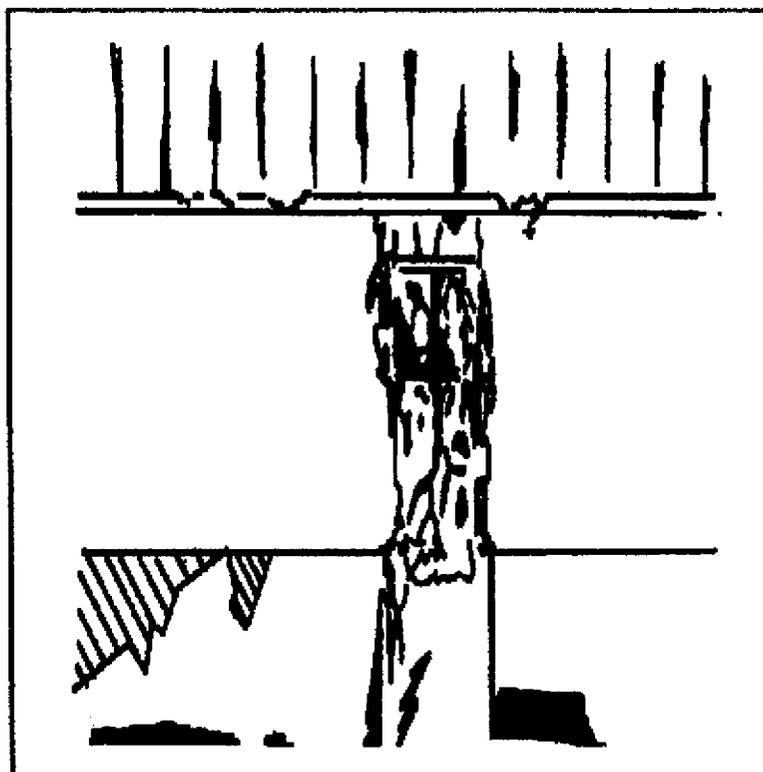
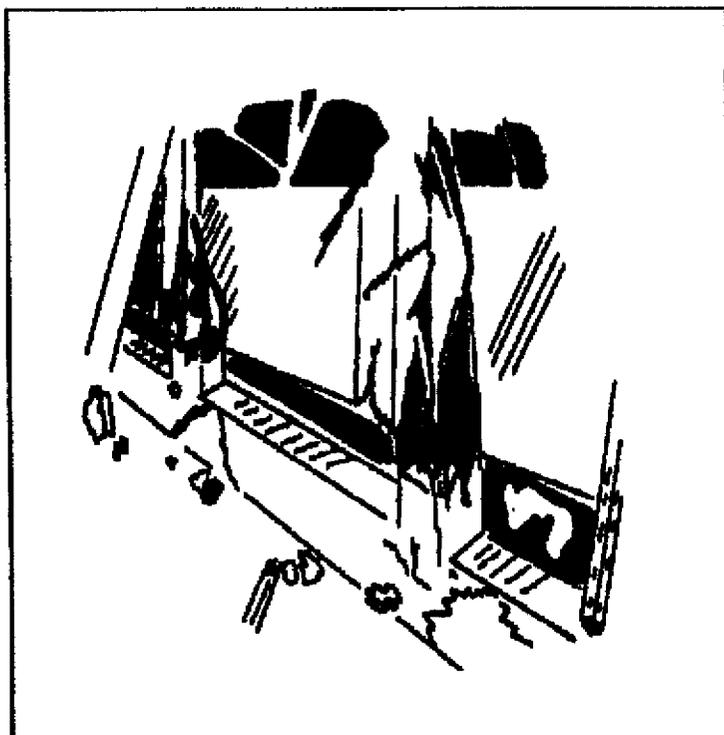


Figura 11 Falla en cortante por efecto de columna corta, terremoto de México D. F. 1985.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 29
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2



**Figura 12** Falla en cortante por efecto de columna corta en el Hospital de Niños Benjamín Bloom, San Salvador; la consecuencia fue el colapso de dos secciones de tres pisos, terremoto 1986.

En el terremoto de San Salvador, la falla de columna corta en la planta baja tuvo como consecuencia el colapso de dos secciones de tres pisos (figura 12) del Hospital de Niños Benjamín Bloom, de dicha ciudad.

#### 4. Falla por cortante.

Las paredes de mampostería integradas al sistema resistente modifican sustancialmente el flujo de fuerzas.

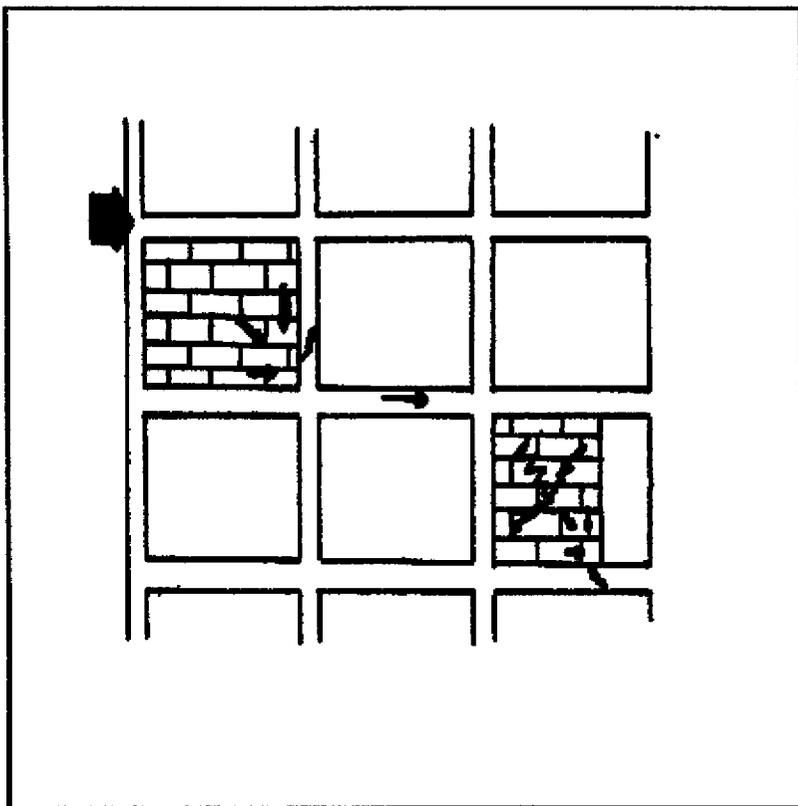
Los tabiques aislados, ligados a pórticos flexibles, atraen por su rigidez la mayor parte de las fuerzas laterales y transmiten el cortante del nivel superior al inferior, en forma de una fuerza resultante diagonal (Figura 13) que puede causar la falla de los elementos estructurales que confinan el tabique.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.30
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ.3.2

El componente horizontal de dicha fuerza puede conducir a la falla por cortante de la columna y el componente vertical puede producir la falla de la viga (Figura 13).

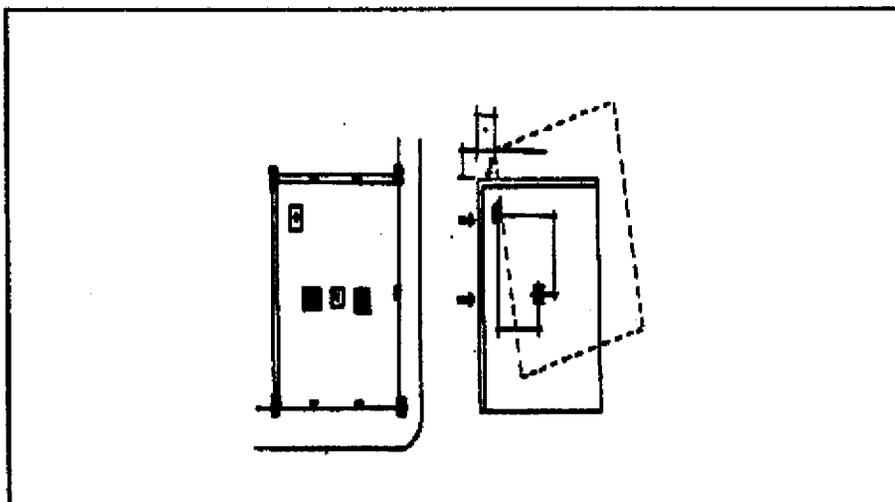
### 5. Efecto de torsión

El efecto de torsión, inducido por la disposición irregular de las paredes y tabiques de mampostería, suele ser especialmente importante en los edificios ubicados en esquinas.



**Figura 13** Falla en cortante de columnas y vigas debido a la intensidad de los tabiques de mampostería. El cortante es transmitido al piso inferior como fuerza diagonal.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 31
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2



**Figura 14** Efecto de torsión en un edificio esquinero. Las paredes de colindancia de mampostería rígida desplazan el centro de rigidez hacia la esquina interior, produciendo gran excentricidad y efecto nocivo de torsión.

En edificios construidos en la intersección de calles es práctica común construir las dos fachadas principales con materiales livianos, generalmente perfiles de aluminio y vidrio; en las paredes de colindancia (Figura 14) se disponen en cambio, tabiques de mampostería generalmente integrados a la estructura.

Estos elementos rígidos tienden a desplazar el centro de rigidez hacia la esquina interior, creando una gran excentricidad respecto al centro de masa.

Los daños estructurales y aún el colapso son las consecuencias de los efectos torsionales inducidos por las solicitaciones sísmicas. En terremotos recientes (México D.F. en 1985, San Salvador en 1986) se ha observado que los edificios esquineros son más vulnerables a sufrir colapso (Figura 15).

<i>PRONEM</i>	<i>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</i>	<i>PAG.32</i>
<i>1991</i>	<i>LAS ESTRUCTURAS</i>	<i>OBJ.3.2</i>



**Figura 15** Colapso de un edificio esquinero, terremoto de San Salvador 1986.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.33
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ.3.2

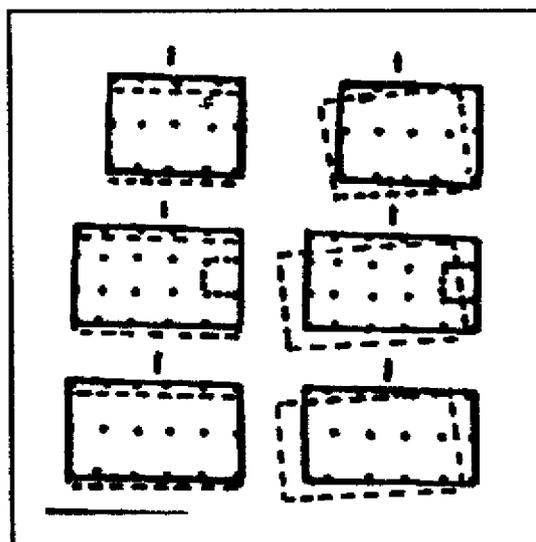


Figura 16 Efecto de torsión.

La figura 16 ilustra cómo edificios simétricos en planta muestran efectos torsionales significativos, debido a la disposición asimétrica de las paredes de mampostería.

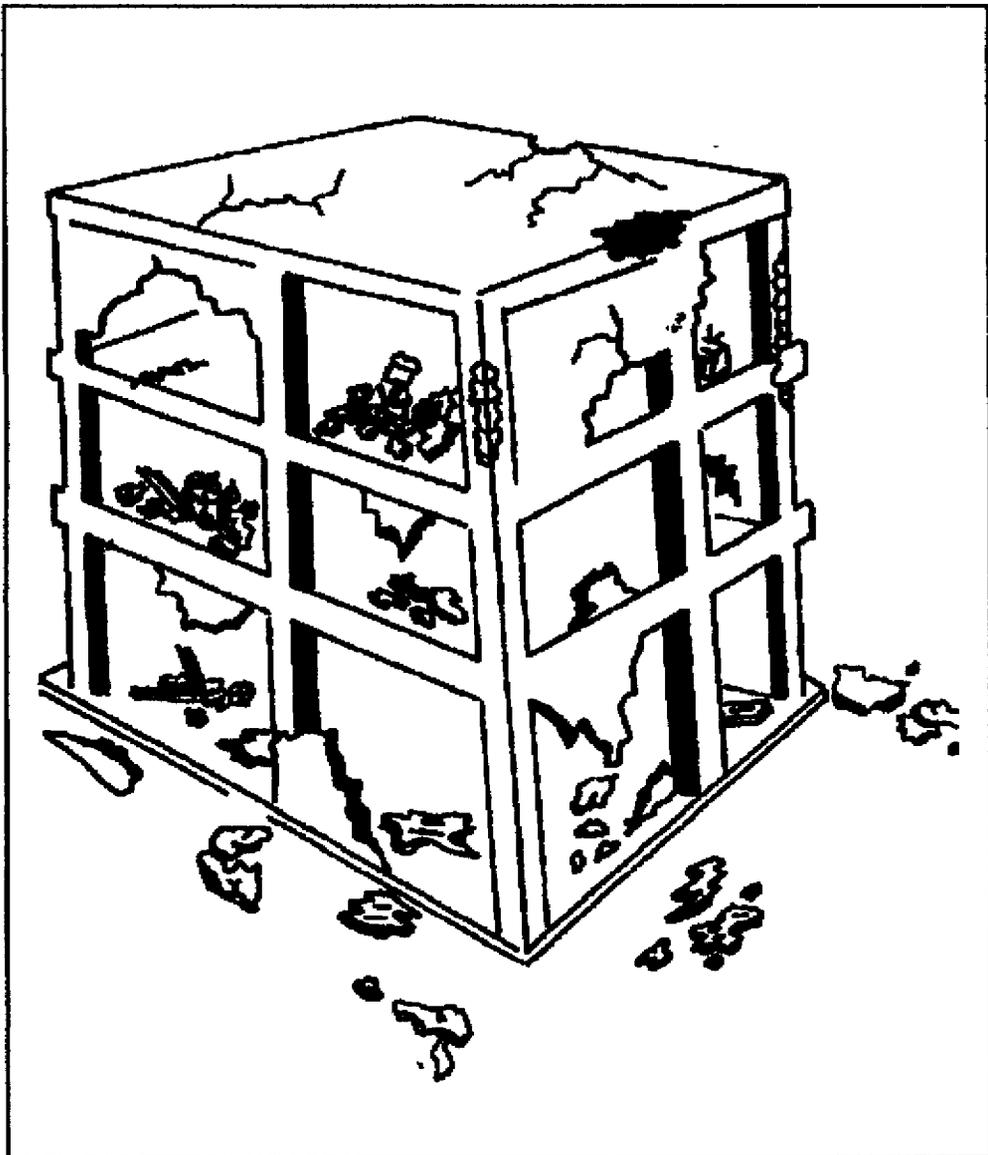
La disposición asimétrica de las paredes de mampostería inducen efectos de torsión, aún en edificios de planta simétrica, Detalles constructivos tendientes a desligar la tabiquería del sistema resistente evitan este efecto.

#### 6. Daños secundarios en la mampostería.

Los daños secundarios más frecuentes y cuantiosos, ocasionados por los sismos, son los causados a paredes y tabiques de mampostería. Otros daños son fisuras en el reboque de mortero y enlucido, agrietamiento severo de la tabiquería y desprendimiento de paredes, estos representan la mayor parte de las pérdidas económicas ocasionadas por eventos de moderada intensidad y dan lugar al mayor número de reclamos de indemnización que deben atender las compañías de seguros después de un sismo.

De lo expuesto anteriormente, se concluye que las paredes y tabiques de mampostería cuando están integrados a la estructura, restringen los desplazamientos laterales, cambian la distribución de rigideces y modifican el comportamiento sísmico del sistema resistente; además, la tabiquería ejerce frecuentemente un efecto desfavorable o nocivo sobre la estructura, conduciendo a la falla de elementos estructurales y al colapso de edificios.

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 34
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2



**Figura 17** Daños severos y desprendimientos de paredes de mampostería a consecuencia del terremoto de Mexico D. F. 1985.

Los daños a la tabiquería pueden representar pérdidas económicas cuantiosas y sacar un edificio fuera de operación.

### 3.2.3. ZONAS DE ALTO RIESGO EN COSTA RICA.

En Costa Rica, el origen de la actividad sísmica obedece a la interacción de las placas del Coco, Caribe y Nazca, ya sea por la fricción generada durante la subducción, o por desplazamiento

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 35</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ. 3.2</b>

lateral. Las fallas locales y superficiales, dentro de la placa Caribe, son también responsables de un alto nivel de actividad.

Considerando la sismicidad de Costa Rica y la naturaleza tectónica de las fuentes sísmicas que han dado origen, Costa Rica puede ser dividido en tres grandes regiones, las cuales muestran una correlación cercana con las unidades morfotectónicas del país (Well, 1971; Mora, 1981, 1983; Morales, 1987)

### **1. El litoral Pacífico o Región Arco - Fosa**

Es caracterizado geomorfológicamente por la fosa Mesoamericana en el mar y por las penínsulas y golfos de la costa. Esta región se encuentra afectada por la sismicidad derivada del proceso de subducción (placa del Coco bajo la placa de Caribe), a lo largo y a su extremo sureste por la zona de fracturas de Panamá (interacción de las tres placas). En esta región se originan temblores de profundidades menores a los 60 Kms y se alcanzan magnitudes máximas cercanas a ocho grados en la escala de Richter, es decir, de una gran capacidad de liberación de energía, sobre todo en las áreas de los golfos de Nicoya y Dulce ( Morales, 1985).

Las áreas de Quepos y Papagayo, a pesar de su manifiesta actividad, han liberado menos energía en lo que va del presente siglo. La intensidad máxima con que ha sido afectada la región, oscila entre VIII y IX grados (Escala Mercalli modificada), lo cual quiere decir que se ha generado aceleraciones mayores al 50% de la gravedad. (Ver figura 18).

PRONEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG.36
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ.3.2

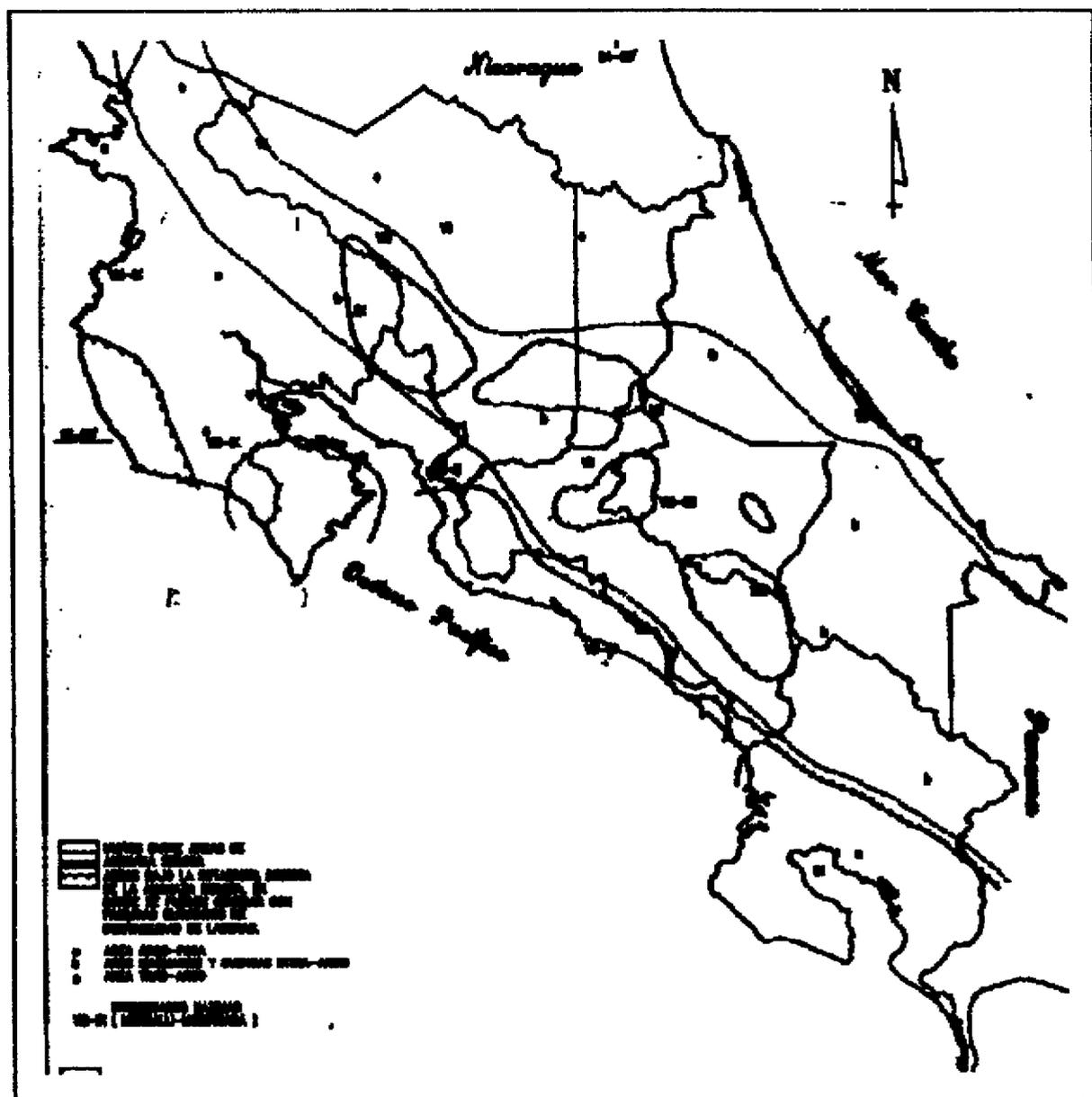


Figura 18 Mapa de amenazas sísmicas.

## 2. Valles y Serranías del Interior ( Arco magmático y cuencas intra - arco)

Esta región se encuentra separada de la anterior por un sistema de fallas que cruza el país con rumbo NW-SE, (Mora, 1979, 1981, 1983). Aquí, la liberación de energía sísmica se realiza por medio de fallas locales y someras (temblores intraplaca) (Montero y Dewey, 1982, Morales, 1985). Los pequeños temblores de origen volcánico, por su baja magnitud, no ofrecen un peligro significa-

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG. 37</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ. 3.2</b>

tivo, los eventos de subducción, dada su profundidad (  $Z > 70$  Km), no serán los más dañinos.

Son, pues, los sismos originados por la actividad de las fallas locales someras, los que poseen un mayor potencial destructivo, - como lo demuestran los terremotos de Cartago, Pérez Zeledón, División, Tilarán, Fraijanes, y otros, semejantes a los que han generado la destrucción de San Salvador y Managua. La vulnerabilidad en estas regiones es así muy elevada, dada la densidad de población. Los sismos generalmente son de una magnitud moderada (  $M < 6,5$  ), aunque han generado intensidades y aceleraciones importantes ( VII - IX y 20% - 50%, respectivamente) ( Montero, 1983; Morales, 1985).

### **3. Llanuras del Norte y del Caribe ( Area Tras - Arco ).**

Esta región se encuentra en la parte trasera del arco magmático y comprende un territorio de llanuras y tierras bajas con pequeñas colinas. Es la región más tranquila desde el punto de vista tectónico, y a ella corresponde la sismicidad más baja del territorio.

La actividad, por lo general, se circunscribe a un nivel de microtemblores ( $M < 3$ ), originados por fallamientos y deformaciones locales. La ciudad de Limón fue sacudida por un temblor local (7/1/1953),  $M=5.5$ , MM-VII) que causó daños, en especial, originados por la licuefacción de suelos arenosos. Las aceleraciones máximas esperadas para sismos semejantes pueden no exceder en promedio un 20% de la gravedad.

### **4. Los efectos combinados de las amenazas geológicas.**

Los fenómenos naturales, en función de los elementos y agentes que los controlan y disparan, no siempre actúan por sí solos; más bien tienden a combinarse y, por ende, a multiplicar sus efectos y consecuencias.

En la Tabla I, se muestra una manera de combinar los efectos de los fenómenos naturales entre sí y en función de relieve. Es sencillo apreciar, cómo en la realidad, muchas de las situaciones apuntadas se presentan en Costa Rica y frecuentemente también los resultados.

Debe apreciarse que prácticamente a todo lo largo de los ejes montañosos principales: Cordillera de Talamanca, Central; Guana-caste y Fila Costeña, se combinan casi todos los fenómenos en forma casi continua, por ejemplo: relieve fuerte, lluvias de alta intensidad, volcanismo, sismicidad, erosión, deslizamientos. En otras palabras, con cada gran evento sísmico o período de alta actividad volcánica, será de esperar que también ocurran desliza-

<b>PRONEM</b>	<b>RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS</b>	<b>PAG.38</b>
<b>1991</b>	<b>LAS ESTRUCTURAS</b>	<b>OBJ.3.2</b>

mientos, erosión, lahares, etc., en especial cuando se presenten lluvias intensas.

Estos son los aspectos que mayormente deberán ser tomados en cuenta por los planificadores.

#### CLAVES DEL CUADRO No.1:

- 1.- Erosión intensa al entrar el invierno.
- 2.- No hay conflicto.
- 3.- Debilitamiento de la biosfera, en particular de la vegetación y del suelo ( lluvias ácidas, caída de ceniza, etc).
- 4.- Alta frecuencia de avenidas, erosión, sedimentos.
- 5.- Erosión muy intensa, generación de sedimentos.
- 6.- Susceptibilidad a la erosión eólica.
- 7.- Alta susceptibilidad.
- 8.- Deslizamientos y erosión intensa y avalanchas de detritos.
- 9.- Lahares, deslizamientos, erosión.
- 10.- Deslizamientos, erosión intensa y avalanchas de detritos.
- 11.- Erosión laminar y concentrada.
- 12.- Inundaciones.
- 13.- Socavación de bancos aluviales.
- 14.- No necesariamente hay conflicto.
- 15.- Licuefacción.
- 16.- Avalanchas.
- 17.- Desbordamiento, erosión.
- 18.- Gran susceptibilidad.
- 19.- Luego del deslizamiento, gran erosión.
- 20.- En fumarolas, áreas de alteraciones hidrotermal, superficies desprovistas de vegetación a causa de lluvia ácida, luego de caída de cenizas, generación de flujos de lodo.
- 21.- Tierras malas, barrancas, cañadas, zurcos.
- 22.- Carcavas, zurcos, canales, erosión, laminar.
- 23.- Erosión laminar, en microcanales y canales.
- 24.- Sobre todo durante la época lluviosa y en áreas de relieve fuerte.
- 25.- Durante períodos de actividad y de alta pluviosidad.
- 26.- Alta susceptibilidad en rocas y regolitos.
- 27.- Suelos, profundos y someros, reptación.
- 28.- Someros, reptación.
- 29.- Deslizamientos.
- 30.- Licuefacción.
- 31.- Licuefacción, amplificación en el espectro.
- 32.- Deslizamientos, lahares, coladas de alta tasa de emisión y alcance, lluvias ácidas, gases, transporte a larga distancia de piroclastos, según la dirección del viento.

PROHEM	RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS	PAG. 39
1991	LAS ESTRUCTURAS	OBJ. 3.2

MATRIZ DE COMBINACION DE FENOMENOS NATURALES, EN CASOS EN LOS QUE PUEDAN PRESENTARSE SIMULTANEAMENTE

CUADRO Nº1

	T O R M E N T A S	I N U N D A C I O N E S	E R O S I O N	D E S L I Z A M I E N T O S	S I S M I C I D A D	V O L C A N I S M O	R E L I E V O S F U E R T E	R E L I E V O S E U A V E	P L A N I C I E S
SEQUELAS	1	1	1	2	2	3	6	6	6
TORMENTAS		4	5	7	8	9	10	11	12
INUNDACIONES			13	14	15	2	16	17	18
EROSION				19	19	20	21	22	23
DESLIZAMIENTOS					24	25	26	27	28
SISMICIDAD						29	29 30	30	31
VULCANISMO							32	32	32