

los cuales, por los daños que originan, contribuyeron para que la capital cambiara de sitio en más de una ocasión.

La naturaleza de la actividad sísmica, independiente de la producida por el volcanismo, puede considerarse de la siguiente manera:

a) La que provoca el corrimiento del continente con el piso oceánico, con hipocentros que a veces sobrepasan los 80 kilómetros de profundidad.

b) La que se origina por rupturas de fallas en una zona a manera de franja, causante de los movimientos sísmicos más violentos que han afectado al país, la cual coincide con la presencia del volcanismo activo.

La zona sísmica considerada como más crítica es la numeral b), en la que se encuentran, como ya se mencionó, volcanes activos pertenecientes a la Cordillera del Pacífico; de igual manera, se halla relacionada con rasgos tectónicos de mucha importancia. Se extiende desde el Oeste hasta el Este cubriendo la parte media de El Salvador; presenta un historial completamente desastroso, con epicentros calificados como sísmicamente peligrosos, a causa de la relativa poca profundidad de sus hipocentros, que varía entre 5 y 10 kilómetros, y más que todo, por su proximidad a las ciudades principales, las cuales han soportado muchas veces terremotos de carácter totalmente destructivos.

Otra característica principal para esta zona es el hecho de que sus focos sísmicos se encuentran muchas veces asociados a la cadena volcánica continental; no

significando esto que la ocurrencia de un sismo esté relacionada siempre con una posible erupción de un volcán; además, es necesario mencionar que en ella se pueden esperar terremotos con una intensidad que puede alcanzar grado IX. A manera de ejemplo, se mencionan a continuación tres eventos sísmicos originados en esta zona:

- El ocurrido en Jucuapa, Chinameca, San Buenaventura, Nueva Guadalupe, etc. el día 6 de mayo de 1951, con una intensidad y una magnitud de 6.5.

- El sucedido el 3 de mayo de 1965, con consecuencias graves para San Salvador y poblaciones cercanas, el cual presentó una intensidad máxima de VIII y una magnitud de 6.3.

- El terremoto del 10 de octubre/1986 de origen tectónico, el cual destruyó parte de la capital de San Salvador, con pérdidas de 1,500 muertos; en edificios (más o menos \$ 2,500,000.00), en otros materiales \$ 95,000,000.00. Tuvo una intensidad de VIII-IX, M.M. y una magnitud de 5.4 con una profundidad focal de 8 Kms.

La zona sísmica que le sigue en importancia a la que se acaba de describir es la que presenta sus epicentros en el Océano Pacífico, la cual se encuentra a distancias que oscilan entre 10 y 100 kilómetros de la costa, con hipocentros o focos que varían de 30 a 80 kilómetros de profundidad.

El historial sísmico de esta zona demuestra que no ha tenido mayor repercusión o impacto sobre la ciudad de San Salvador, ya que los daños producidos en ella prácticamente son de im-

portancia secundaria. A manera de ejemplo se hace saber que, el sismo ocurrido el 19 de junio de 1982, tuvo su epicentro a unos 70 kilómetros al Suroeste de San Salvador, o sea, en el Océano Pacífico. La magnitud de él fue de 7.0 en la escala de Richter y la intensidad máxima de VII en la de Mercalli Modificada. Tal como se ha de recordar, este evento no produjo mayores consecuencias.

Además de las zonas sísmicas arriba mencionadas, es necesario referirse a la Zona Marginal del Norte, la cual es muy tranquila por encontrarse aislada de las áreas consideradas como más activas. Las mayores intensidades alcanzan hasta grado VI, siempre de acuerdo a la escala de Mercalli modificada. Su topografía es bastante irregular, es decir, es montañosa, situación que hace que se encuentre expuesta en muchas partes, a ciertos movimientos de tierras, tales como deslizamientos y derrumbes.

Otro dato de gran relevancia es el hecho de que nuestro país se encuentra comprendido en el llamado "Cinturón de Fuego Circumpacífico" o "Trinchera Mesoamericana", y debido a esta circunstancia está vinculado con el tectonismo de placas. De acuerdo a estudios realizados, el movimiento direccional de las placas tectónicas de Norteamérica, del Caribe y de Cocos, que es aproximadamente de 2.0 cms. por año, repercute también en la alta tasa de sismicidad que ocurre, tanto dentro como fuera, de nuestras costas.

Se ha comprobado también que existe una relación entre la intensidad sísmica y la naturaleza de los materiales geológicos, es decir, zonas cubiertas por rocas

consolidadas (duras), como por ejemplo, lavas. Resisten más el impacto de un terremoto, precisamente porque le han conferido mayor estabilidad a aquella parte del subsuelo donde se manifiestan, ocurriendo lo contrario en regiones que presentan materiales poco estables, como lo son las cenizas volcánicas o tierra blanca y otros materiales piroclásticos, que además se fracturan o se agrietan con relativa facilidad, con lo cual empeoran las condiciones del subsuelo, lo que obliga necesariamente a estudios geológicos y geotécnicos concienzudos, para mayor garantía en la construcción de viviendas.

Como puede observarse, el área metropolitana presenta una gran sismicidad, y por consiguiente, un riesgo sísmico considerable, lo cual incluye la posibilidad de que ocurra un terremoto aproximadamente cada 20 ó 30 años.

Como es natural, un terremoto no se puede predecir todavía de una manera definitiva, ni mucho menos evitar; pero sí es posible disminuir el riesgo sísmico estudiando las propiedades dinámicas de los suelos, con el objeto de conocer su comportamiento ante las perturbaciones sísmicas y la influencia que éstas puedan ejercer en las estructuras. Se debe, entonces, aprender mucho de los movimientos violentos para que esta experiencia sea usada para mejorar el diseño de las estructuras antisísmicas.

Lo expresado en el párrafo anterior se puede manifestar también recalcando la necesidad de conocer el subsuelo, así como todos los factores geológicos superficiales que eventualmente participan en el incremento de los

riesgos, con el objeto de garantizar un planeamiento adecuado de las áreas urbanas.

### 2.1.1. Naturaleza del problema del riesgo de un terremoto.

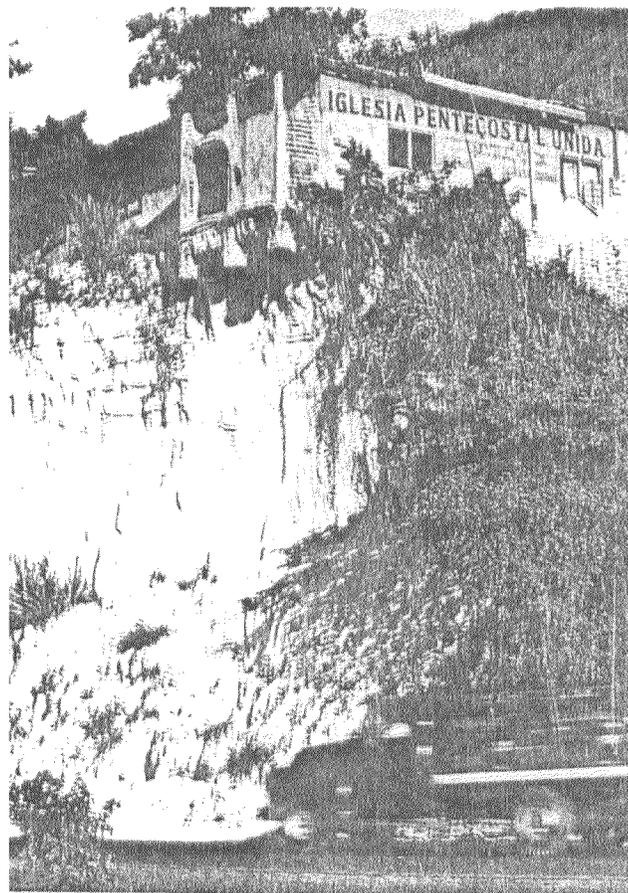
Como se sabe, los terremotos son riesgos naturales capaces de provocar pérdidas económicas y de vidas. Por riesgo sísmico se entiende la probabilidad de pérdidas en un período específico de tiempo. Los elementos más importantes en la evolución de este riesgo son los siguientes:

1. Historial sísmico.
2. Naturaleza del origen del sísmo.
3. Atenuación de energía sísmica.
4. Repuesta del lugar y
5. Peligros geológicos.

A continuación se hace una descripción de cada uno de ellos, poniendo énfasis en algunas de las áreas del problema y dificultades que se han encontrado en su evolución.

#### 2.1.1.1 Historial sísmico.

El conocimiento de las ocurrencias anteriores de movi-



mientos sísmicos está relacionado con el registro histórico de terremotos y con la evidencia geológica de actividad sísmica. El inconveniente con el primero de los mencionados es que siempre es muy corto e incompleto, y por lo tanto, hay que saberlo usar de la mejor forma posible. De igual manera, el uso de ciertas evidencias geológicas de actividades sísmicas prehistóricas contiene un gran número de dificultades, tal como es el caso del fallamiento ocurrido en el Holoceno o antes, que en el momento actual se encuentra, en algunos lugares, encubierto por la erosión.

~~Las dificultades aumentan más cuando existen áreas de gran~~

- El Salvador carece de una zonificación sísmica que regule la ejecución de obras civiles, así como también se carece de una legislación que incluya la necesidad de realizar investigaciones geológicas, geotécnicas, sismológicas, de dinámica de suelos, e ingeniería sísmica en obras civiles de mucha importancia, con el objeto de garantizar su estabilidad.

- Muchas de las víctimas de los terremotos provienen de viviendas construidas con materiales débiles como el adobe o de zonas marginales, donde se vive por necesidad y no por ignorancia del peligro, lo cual indica que el estado debe acelerar sus programas de vivienda popular para garantizar de este sector poblacional.

- En El Salvador, se carece de programas de orientación que tienden a educar a sus habitantes, en el sentido de que conozcan mejor estos fenómenos, para que sepan actuar adecuadamente en el momento preciso, lo cual conducirá naturalmente a la reducción de víctimas.

### 2.3 Recomendaciones.

- Llevar a cabo programas de investigación que tiendan a conocer las características geológicas de los materiales existentes en zonas críticas, así como también investigaciones geotécnicas que conduzcan al conocimiento de ciertas propiedades inherentes a los mismos.

- Promover el desarrollo e implementación de laboratorios para ensayos dinámicos de suelos y materiales, dada la frecuencia con que éstos se ven sometidos a

esta condición.

- Intensificar las investigaciones sismológicas en las zonas de mayor peligrosidad sísmica, con el objeto de reunir la mayor información posible relativa a ellas, para que pueda servir de parámetro en la industria de la construcción.

- Llevar a cabo la elaboración de un reglamento de diseño sísmico, que responda a la naturaleza de los materiales geológicos existentes en el país y al registro histórico de la actividad sísmica.

- Realizar la zonificación sísmica de San Salvador, para que pueda ser utilizada en el diseño y cálculo de estructuras, que deban soportar la sacudida de un terremoto.

- Profundizar las investigaciones relativas a la interacción suelo-estructura, con el objeto de garantizar la estabilidad de esta última, a través del conocimiento de los materiales de cimentación.

- No permitir la construcción, de ninguna clase de edificios, en aquellos lugares donde se han llevado a cabo rellenos mal compactados, ya que bajo estas condiciones, pueden conducir a un colapso total ante sacudidas fuertes.

- Facilitar el conocimiento de estos fenómenos a todas las personas, para que los conozcan más. De esa manera saberlos afrontar mejor, y así, reducir al máximo sus consecuencias.

### 3. Aguas que corren en la superficie terrestre o cerca de ellas sin control alguno.

Las aguas que corren sobre

la superficie del terreno sin ninguna clase de control, son, indudablemente, las que causan los mayores problemas, tanto desde el punto de vista humano como económico. Si se hace un listado de dichos fenómenos, podrá observarse que éstos son innumerables. A manera de ejemplo se mencionan los tres siguientes:

a) La inundación del año 1922, que arrancó principalmente con los barrios de Candelaria, La Vega y San Esteban.

b) La inundación del año 1934, que fue a nivel nacional.

c) El deslizamiento de materiales sueltos ocurrido en septiembre de 1982, en la parte Sureste de El Picacho.

Como es del conocimiento de todos, tales anomalías se presentan principalmente durante la época lluviosa y, más que todo, cuando las precipitaciones pluviales alcanzan una intensidad notable. Ocurren, entonces, en combinación con la presencia de ciertos materiales geológicos, una serie de hechos que muchas veces dejan a las personas sin vivienda o, en el peor de los casos, sin el don sagrado de la vida.

En El Salvador, y en casi todos los países del mundo, es el agua el principal agente de erosión, contribuyendo a la remoción, desprendimiento y arrastre de materiales poco coesivos. Esta es la razón por la cual nuestros ríos no son cristalinos, sino que corren enturbiados, transportando todos los años al mar miles de toneladas de materiales, arrancados en diferentes partes del territorio nacional.

En San Salvador y sus alrededores inmediatos, predominan

las cenizas volcánicas (tierra blanca), ocupando una segunda posición ciertas tobas de pómez de color café amarillento. Ambas son consideradas como productos piroclásticos, erupcionados en el pasado a través de diferentes eventos volcánicos. Lo más significativo de ellas es una escasa resistencia al fenómeno de la erosión, especialmente la primera de las mencionadas, lo que las convierte en presa fácil de las aguas que corren sobre la superficie, las cuales en su accionar son más frecuentes, y por lo tanto, causan más daños que un movimiento sísmico violento, ya que éste ocurre, de acuerdo a las estadísticas, aproximadamente cada 20 años.

Los daños que se originan en la zona metropolitana, como consecuencia de lo ya expuesto son:

- Inundación y arrastre de viviendas construidas a orillas de ríos y quebradas, en especial las pertenecientes a las zonas marginales. En especial, pero no en forma definitiva, ya que también viviendas de tipo residencial han sufrido estas consecuencias, a las que se les puede agregar el hecho de que, si no son arrastradas, entonces se derrumban por la poca estabilidad de los materiales geológicos donde han sido emplazadas.

- La condición de derrumbe de viviendas no es exclusiva para las orillas de ríos y quebradas. En muchos lugares de San Salvador se presentan estos casos, en los que las aguas lluvias, al infiltrarse en el subsuelo, provocan una erosión de carácter interno, creando así, las condiciones ideales para el colapso, con el resultado final de tener casas

totalmente derrumbadas.

- La construcción de viviendas en pendientes muy pronunciadas o al pie de ellas, en las que se encuentra siempre la misma clase de materiales geológicos inestables. Es una amenaza que, en más de una ocasión, ya produjo tragedias, ocasionadas por movimientos de tierra que causaron el soterramiento de dichas viviendas.

- La formación de grietas en el suelo, ya sea por actividad sísmica o por erosión, también ha contribuido a la cadena de desastres naturales. Grietas que en un principio no parecen tener ninguna importancia, poco a poco, o de una manera acelerada van creciendo, hasta que finalmente alcanzan dimensiones capaces de hacer sucumbir a las viviendas.

- La construcción en rellenos mal compactados, complementados con el uso de materiales de relleno de mala calidad, termina con el apareamiento de grietas en el suelo. Lo que, posteriormente, da lugar a asentamientos, hundimientos, derrumbes, etc. En este sentido hay que tener especial cuidado con los rellenos que se efectúan en los ríos y quebradas, ya que las aguas buscan siempre el camino que tuvieron al principio.

Todo lo anterior forma parte de los desastres naturales, que si bien son difíciles de evitar, por lo menos se puede hacer el intento de minimizarlos, adoptando ciertas medidas consideradas como necesarias, o mediante una legislación especial que todo mundo debe respetar. Respecto a esto, se pueden tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Prohibir la construcción de viviendas a orillas de ríos y quebradas. En este caso o aspecto existe una disposición legal que así lo establece, pero... ¿Se cumple esta disposición? Se entiende que en lo referente a las zonas marginales, el problema es más agudo, ya que se trata de personas que no tienen dónde vivir; sin embargo, algo hay que hacer para mejorar esta situación.

2. Debe establecerse un control de las aguas que descienden a través de quebradas, del volcán de San Salvador y cerro de San Jacinto. De igual manera es necesaria la canalización de las aguas que corren desordenadamente sobre la superficie; así como también es necesario el control de los drenajes internos para evitar problemas de erosión en el subsuelo.

3. Regular la construcción de viviendas en pendientes muy pronunciadas, especialmente donde las condiciones geológicas del lugar no son favorables.

4. Atender de inmediato la presencia de grietas en el suelo para evitar problemas de índole mayor en el futuro, tales como la formación de cárcavas o daños provocados por la infiltración del agua, como por ejemplo, asentamientos, hundimientos, derrumbes, etc.

5. Supervisar estrictamente, a través de un organismo gubernamental, trabajos relacionados con rellenos, comprobando la buena calidad de los materiales utilizados, así como también, que la compactación sea llevada a cabo de acuerdo a las normas técnicas existentes. Todo esto tendiente a garantizar la seguridad de los proyectos habitacionales y de otras obras civiles, tales como

las carreteras que en esta época son supercaras.

6. Evitar hasta donde sea posible el cambio de los cursos de ríos y quebradas, su relleno y la construcción de complejos habitacionales sobre ellos, mientras no se realicen estudios geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos de detalle.

7. Ejecutar obras de protección de todos los lugares propensos a la erosión y que, por consiguiente, son un riesgo para la seguridad de las personas y viviendas.

Naturalmente que pueden surgir más planteamientos, si se analiza más a fondo este problema, el cual continuará toda vez que no se le preste la debida atención.

#### 4. Actividad volcánica.

El Salvador es un país cubierto, en gran parte, por rocas de origen volcánico, es decir, por materiales arrojados a través de la actividad, ocurrida en diversas ocasiones, de nuestros volcanes ubicados en diferentes partes del territorio nacional. Varios de ellos, como por ejemplo, el Guazapa, formado en la Era Terciaria, ya pertenecen a la categoría de inactivos o totalmente apagados; en otras palabras, no se puede esperar definitivamente ningún evento eruptivo, sino por el contrario, en el momento actual

son volcanes en extinción víctimas del fenómeno de la erosión.

Pero así como hay volcanes inactivos, hay otros que se consideran activos. Estos están situados en el graben o fosa central, que atraviesa prácticamente la parte media del país, en una dirección Oeste Noroeste - Este Sureste. Precisamente uno de los volcanes de este tipo es el de San Salvador, considerado como un macizo complejo formado en la Era Cuaternaria e integrado por El

mucho sobre las demás alturas existentes en el área de San Salvador y alrededores inmediatos. De acuerdo al Mapa Oficial de la República de El Salvador, escala 1:300,000, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional, la altura máxima de este complejo volcánico es de 1959,97 mts.

Martínez M., en su estudio denominado "Consideraciones acerca de la Epoca de la futura ocurrencia de un nuevo sismo o erupción volcánica que afecta el



La "tragedia de Montebello", aluvión del volcán de San Salvador, el 19 de septiembre de 1982.

Boquerón, El Jabalí y El Picacho.

Desde el punto de vista geológico, es un volcán compuesto o mixto, denominado así por el hecho de estar constituido por estratos alternos de corrientes de lavas y materiales piroclásticos, tales como tobas de pómez, lapilli, escorias y cenizas volcánicas. Al observarlo se nota en él su porte majestuoso e imponente, que predomina por

Area Metropolitana de San Salvador", manifiesta que, un 30% de los sismos ocurridos desde 1542, están relacionados con períodos eruptivos de El Boquerón, el cual arroja sus productos ígneos desde muchos cientos de años atrás, por le lado de El Playón, o sea al otro lado del volcán, a través de una falla con rumbo NNW; en cambio su

prolongación SSE en la que se encuentran volcanes secundarios como El Plan de La Laguna y El Espino, está cubierta por pómez y cenizas volcánicas de Ilopango, lo cual indica un período de calma en este sector que abarca más de 1,000 años.

Al remontarse hacia el pasado, se podrá observar que varias de sus erupciones fueron acompañadas por movimientos sísmicos, que, en algunos casos,

alcanzaron una intensidad de VII grados o un poco más (Escala de Mercalli Modificada), los cuales dieron lugar a daños excesivamente severos que destruyeron la ciudad capital o parte de ella. La última etapa eruptiva se remonta al año de 1917, dejando como un testimonio lo que ahora se conoce con el nombre de "Lava de Quezaltepeque", es decir, han pasado 67 años de absoluta tranquilidad; por lo tanto, es estrictamente necesario establecer en él, por el momento, un control sísmico tendiente a conocer detalladamente una posible actividad de este tipo, la cual eventualmente puede estar vinculada con los movimientos internos del magma en su ascenso a la superficie. En varias regiones del mundo ya se tiene esta clase de control, y en más de una ocasión, gracias a la prevención de que se iba a producir la erupción de un volcán, fue posible poner a salvo a sus habitantes.

Es natural que el control sísmico puede ir acompañado de otras investigaciones científicas de índole geoquímica, mineralógica y de observación, que puedan, de igual manera, contribuir a la prevención de cualquier situación anómala que se pueda presentar, y por consiguiente, a la toma de medidas de seguridad.

El control sísmico del volcán de San Salvador, debe ir acompañado de la regulación del desarrollo urbano. En este sentido es necesario tomar en cuenta el establecimiento de la Primera Zona Protectora del Suelo, nacida mediante Decreto Ejecutivo No. 22 publicado en el Diario Oficial del 12 de febrero de 1974, el cual permite regular zonas conflictivas entre el desarrollo urbano y la protección de los recursos naturales. Es bien conocido que, de la costa 1,500 metros hacia arriba, el volcán está sujeto a sufrir movimientos masivos de materiales sólidos, por lo que sería conveniente que se tomaran las precauciones y medidas técnicas legales para proteger las áreas urbanas localizadas en su base, especialmente la zona de Montebello Poniente y lugares circunvecinos.

En el mes de septiembre de 1983 se celebró, en la ciudad capital, un seminario técnico relacionado con la tragedia ocurrida un año antes, es decir, en septiembre de 1982. Muchas recomendaciones resultaron de él; pero desafortunadamente se está viviendo una situación social y económica extremadamente crítica, por lo que no ha sido posible ponerlas en práctica.

No obstante lo expresado en el párrafo anterior, por lo menos se le puede proteger con

una buena cubierta vegetal, acorde con la capacidad de sustentación del suelo. Es necesario evitar la tala de árboles, con el objeto de anular la degradación de las tierras. No hay que olvidar que la erosión puede destruir aceleradamente lo que la naturaleza tarda siglos en producir o construir. No hay que olvidar tampoco que este volcán constituye el gran reservorio de aguas subterráneas para el área metropolitana y aledaña, y, entre más protegido esté por la vegetación, más se van a enriquecer los mantos acuíferos.

Por otra parte, el sismo de 1986, puso en evidencia la falta de prevención de muchos constructores, en lo que concierne al uso inadecuado de normas y materiales que son riesgos en un medio geográfico como el de la ciudad de San Salvador. Ello, junto con la falta de preparación educativa del público para este tipo de fenómenos, fue causa de que los daños personales y materiales fueran incrementados. En el tiempo inmediato al terremoto se despertó la conciencia nacional sobre estos fenómenos; sin embargo, con el transcurso del tiempo, pareciera que se han dejado de lado las buenas intenciones, olvidándose que, cada día que transcurre, nos aproxima a una nueva situación de catástrofe, tectónica o volcánica, irremediable.