

## **CAPITULO III**

### **ORIGEN DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS EDIFICACIONES POR LOS TERREMOTOS**

En los últimos 30 años han ocurrido numerosos terremotos en América Latina, los cuales han ocasionado diversidad de daños en las más importantes ciudades del Sur, Centro y Norteamérica, lo que ha producido un inesperado impacto en las maltrechas economías de estos países.

Las fuerzas generadas por los terremotos han inducido y desencadenado diversos efectos que van desde los cambios de tipo geológico; rupturas de fallas, deslizamientos, licuación del suelo, hasta los daños directos generados en las edificaciones debido fundamentalmente a deficiencias en el diseño y la configuración estructural.

Las referencias y evidencias más importantes registradas sobre estos tipos de respuestas ocurrieron durante el terremoto de Huaraz en el año 1970 en la República del Perú, donde se produjo un gran desplazamiento de una masa de hielo de la Serranía de Huaraz, la cual generó una gran avalancha de barro que sepultó a la población del mismo nombre ocasionando la muerte a más de 40.000 pobladores.

Otros fenómenos geológicos diversos se presentaron durante el gran terremoto ocurrido en la ciudad de Anchorage en Alaska en el año 1976 durante el cual se produjo un efecto poco registrado en áreas urbanas afectadas por sismos como es la licuación, que ocasionó el hundimiento y fractura de muchas edificaciones de poca altura.

Efectos semejantes se registraron en algunas poblaciones de Guatemala durante el terremoto de febrero de 1976 y en el terremoto de ciudad de México en septiembre de 1985, los que ocasionaron la inclinación y hundimiento de edificaciones de mediana altura y el volcamiento de edificaciones altas.

Así mismo han ocurrido daños originados por los efectos generados en la estructura de las edificaciones, determinando un patrón de respuesta en edificaciones con configuraciones semejantes, a pesar de que las características de los sismos han sido diferentes. Es el caso del registro de daños ocurridos en terremotos diversos como el de Caracas en julio de 1967, el de Managua en 1972, el de Guatemala en febrero de 1976, en Popayán en Marzo de 1983, en México en septiembre de 1985, en los cuales se logró identificar algunos efectos constantes que han ocasionado las más importantes pérdidas.

Es por ello que la mayoría de los especialistas coinciden en establecer que el mayor porcentaje de daños que se producen en las áreas urbanas afectadas por terremotos tienen 2 orígenes fundamentales: los

daños originados por fenómenos geológicos estimulados por la fuerza sísmica y los debido a errores de diseño y configuración estructural.

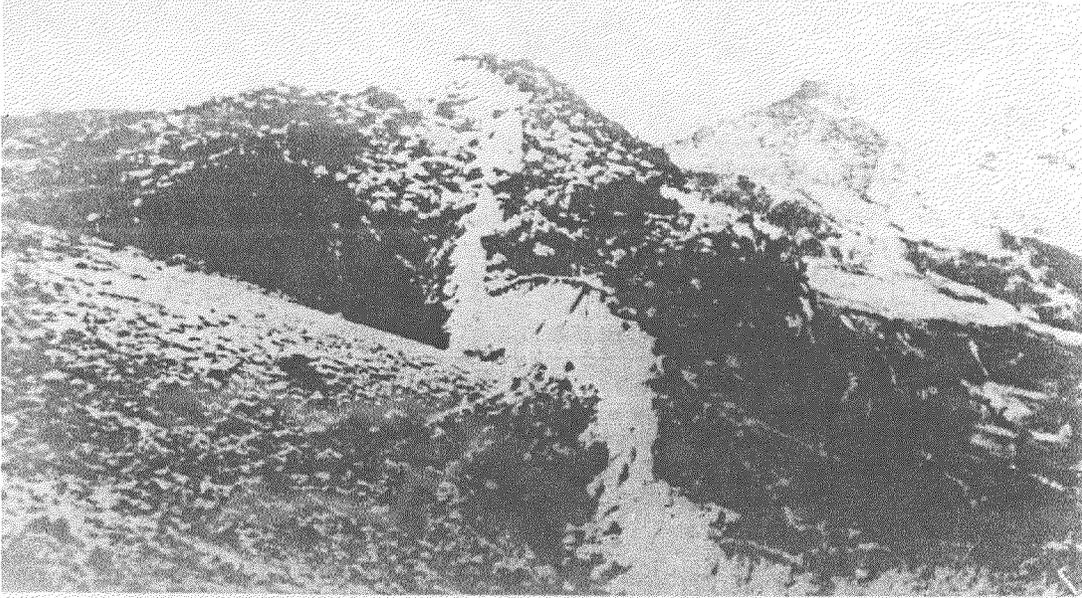
### **3.1.-DAÑOS ORIGINADOS POR FENOMENOS GEOLOGICOS**

En la mayoría de los sismos ocurridos en el mundo ha habido una constante relativa a los efectos geológicos que se han presentado como son los desplazamientos superficiales de bordes de fallas, los movimientos de masa, los hundimientos o fenómenos de subsidencia, la licuación y la amplificación sísmica.

Cada uno de estos efectos han contribuido por separado a incrementar los daños que puede generar la onda sísmica sobre las edificaciones y en algunos casos resultan afectados edificios sin presentar ningún tipo de daño en la estructura.

#### **3.1.1.-Desplazamientos superficiales de bordes de fallas:**

Este fenómeno se presenta con mucha regularidad en zonas de fallas rumbo-deslizantes como la de Boconó, la de San Andrés en California o la de Ilopango en Guatemala. Se produce en terremotos con magnitud superiores a 6 y consiste en una ruptura visible que produce el desplazamiento de los bordes de la falla geológica. Este desplazamiento es variable en la distancia y altura pudiendo producir escalonamientos en el terreno que pueden variar de 3cms. a 2mts. o más (foto 3).



**Foto 3.- Desplazamiento superficial del terreno después de un terremoto mayor ocurrido en el siglo pasado en una región montañosa de Los Andes.**

En los últimos terremotos presentados en Mérida, ocurrieron más de 100 derrumbes en los alrededores de la meseta de Mérida y en otros centros poblados.

Los busamientos son efectos geológicos que se generan en suelos con un alto predominio de arcillas y limos pero que a su vez presentan pendientes muy pronunciadas. Este es un efecto que va evolucionando en períodos más o menos largos pero que puede acelerarse como consecuencia de la vibración sísmicas.

### **3.1.3.-Hundimiento o fenómeno de subsidencia:**

El fenómeno de subsidencia es un proceso de asentamientos o hundimiento de la capa superficial de la corteza terrestre originado al producirse una variación y disminución importante de materiales o sustancias en estado líquido, lo que ocasiona un acomodo de las partículas o componentes del suelo. Este proceso puede ser originado en zonas urbanas en donde se acometen procesos de extracción de agua para fines humanos o agrícolas o en zonas costeras en la cual han existido grandes concentraciones de rocas calizas las cuales son meteorizadas por la acción de aguas subterráneas. En algunos países en la cual existe una intensiva actividad petrolera se ha producido este fenómeno ocasionando el hundimiento de grandes extensiones territoriales en la cual se encuentran asentados centros urbanos.

Históricamente se han identificado algunos acontecimientos geológicos que están directamente asociados con este fenómeno como son los casos de Cubagua en 1543 en Venezuela, el hundimiento de Post Royal en Jamaica en 1775 y los asentamientos ocurridos en los terremotos de México en 1957 y 1985.

El registro más importante de este fenómeno en el mundo es el lento proceso de subsidencia que está ocurriendo en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo desde el año 1925 a una rata de 5 cmts por año lo que ha generado un hundimiento de más de 3 mts. en tres centros urbanos, comprometiendo la seguridad de 50.000 habitantes.

Este fenómeno puede presentarse en algunas regiones del mundo y de Venezuela donde se han asentado centros urbanos especialmente en zonas costeras del Oriente del país.

#### **3.1.4.-Fenómeno de licuación del suelo:**

El fenómeno de licuación es un efecto geológico directo producido en los suelos por los terremotos. Este fenómeno se origina debido a las excesivas presiones hidrostáticas que genera el reacomodo de materiales granulares finos saturados al liberarse la energía sísmica, lo que motiva un desplazamiento masivo de partículas de agua hacia los suelos blandos conformados principalmente por arenas finas, limos y material sedimentario, originando la licuación momentánea del suelo.

Este fenómeno tiene una alta probabilidad de ocurrencia en zonas de suelos blandos especialmente en áreas urbanizadas al borde de la costa o en Costas Ribereñas.

La licuación entró en los anales de la historia durante el terremoto de Nigata en Japón, en el cual 4 edificios de 5 pisos se volcaron y hundieron en el terreno sin presentar ningún tipo de daño estructural.

### **3.1.5.-Fenómeno de amplificación sísmica o resonancia del terreno blando:**

La amplificación de la respuesta a los temblores debido a la presencia de terrenos blandos es un fenómeno muy conocido a nivel mundial y para fines de ingeniería sísmica, México ha sido pionero en su estudio.

Desde hace veinte años se ha venido configurando una teoría sustentada por Herrera y Rosemblyeth. La misma dio la base para la predicción de los espectros de los terremotos, además de que permitió en algunos países establecer los reglamentos y códigos sísmicos.

De acuerdo a estudios comparativos adelantados en México se ha podido establecer que las aceleraciones del suelo esperadas en suelo blando pueden llegar a valores que pueden ser casi el triple de las aceleraciones en roca.

Afortunadamente durante el terremoto del 19 de septiembre de 1985, debido a la existencia de una amplia red de acelerógrafos se pudieron registrar aceleraciones en terrenos blandos y roca. En algunas zonas el período en roca alcanza los 2 segundos y en suelo blando 3 segundos.

De acuerdo a todos los registros logrados en los acelerógrafos instalados en ciudad de México, se pudo concluir que el sismo se inicio en forma leve con intensidades II a III y se fue incrementando gradualmente hasta convertirse en un movimiento oscilatorio casi monocromático con períodos de 2 segundos o más.

Se ha concluido que este fenómeno sólo se puede presentar durante terremotos que afecten zonas de suelos blandos con profundidades de sedimentos superiores a los 70mts., el cual consiste en un movimiento armónico de la superficie del terreno, el que es transmitido a los edificios los cuales vibran de una manera particular.

### **3.2.-DAÑOS EN ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA RESPUESTA DE LAS EDIFICACIONES ANTE LAS FUERZAS SISMICAS:**

Durante la casi totalidad de los terremotos ocurridos en el mundo, los daños ocasionados en las edificaciones han estado asociados a tres parámetros como son: características y período fundamental del depósito (Ts), la distancia del epicentro a la zona urbana y la configuración estructural de las edificaciones.

Las dos primeras están relacionadas con la geológica o las características geofísicas de las áreas sísmicas y la tercera es la correspondiente a los factores intrínsecos de las edificaciones que son incidentes en la generación de daños como son la regularidad, simetría, calidad, resistencia de la estructuras.

En sismos diversos con características físicas diametralmente diferentes, se han presentado daños en edificaciones con condiciones estructurales semejantes, lo que ha permitido orientar los programas de investigación hasta determinar que existen condiciones o características de diseño de las edificaciones que las hacen más vulnerables a las fuerzas generadas durante un terremoto.

De los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas posterior a más de 15 terremotos ocurridos en los últimos 8 años, se han establecido como una constante; algunos efectos de los mismos sobre las edificaciones; los cuales son las causantes de más del 80% de daños ocurridos en áreas urbanas. Entre estos efectos podemos citar: la torsión de la edificación, el efecto de colindancia, el efecto de plantas baja libre o planta blanda, el volcamiento por esbeltez, el efecto de columnas cortas o el de columnas esbeltas y el colapso de estructuras débiles.

En la gran mayoría de las ciudades afectadas por terremotos en América Latina se han presentado todos estos efectos inducidos por la fuerza sísmica y en mayor o menor grado de acuerdo a los procesos de

renovación urbana adelantadas en las mismas, los daños se han concentrado en edificaciones de poca altura pero de una baja calidad estructural.

### **3.2.1.-Daños en estructuras débiles (construcciones de tierra):**

La destrucción ocurrida durante algunos terremotos en ciudades como Lisboa 1775, Caracas 1812, Mérida 1894, San Francisco 1906, Managua 1972, se produjeron debido a la alta concentración de construcciones de tierra (tapia, adobe y ladrillo) existentes en las áreas afectadas por los sismos.

Esta situación se repite en movimientos sísmicos más recientes como los de Guatemala acaecido en 1976 (foto 4) y el de Popayán 1983 (foto 5) donde hubo elevadísimas pérdidas en las construcciones principalmente de tierra. Este tipo de construcción, la cual se ha dado en llamar tradicional por el uso de técnicas constructivas utilizadas desde la colonia presenta poca resistencia a los esfuerzos horizontales ocasionando en la mayoría de los casos, el hundimiento de las techumbres o volcamientos de los muros de tierra pisada o adobe. Otro aspecto a considerar es el relativo a la humedad absorbida por estos materiales los cuales con el tiempo entran en un proceso de fragmentación progresiva hasta su debilitamiento.