

EL TEMBLOR DEL 28 DE JULIO DE 1957

por

J. Merino y Coronado

RESUMEN

The earthquake of July 28th 1957 was studied as to damages in buildings, accelerations and periods in Mexico City and as to its action on the sea shore (tsunamis).

The area of great damage is exceedingly small as compared with the total area in which the shock was felt, as is usual in such cases.

The destruction was due mainly to the special ground conditions rather than to the intensity of the 'quake, as can be seen in the maps, which show the area of destruction confined to the lower part of the city, where the underground is soft with a high percentage of water.

It is shown that - for this 'quake at least - the figures given by the seismological station in Tacubaya regarding intensity, have to be multiplied by 4 or 5 in order to have an idea of the intensity in the lower part of the city (measurements of acceleration in cm per square second, of course).

The period, if it is possible to speak of such a thing, as determined by several methods, was of the order of 1.6 seconds and agrees closely with that given by Tacubaya.

The velocity of the tsunami waves produced by the earthquake was of the order of 300 to 400 kilometers per hour in Salina Cruz and Acapulco respectively and is quite normal. But in both ports the waves exhibited a period of some 30 minutes. As neither one is resonant to such frequencies, the reason for this phenomenon has to be placed probably in the special topographic configuration of the sea bottom which may act as a wave guide. Work is in progress along this line, but at present no final results can be advanced.

Al amanecer del domingo 28 de julio de 1957 ocurrió un temblor que ocasionó varios daños en la capital de la República y en algunas otras poblaciones. La hora epicentral determinada por el Observatorio Sismológico de Tacubaya fue dada como las 2h 40m 00s del meridiano 90° W, o las 2h 40m 04s según el U.S. Coast and Geodetic Survey. En el observatorio se registró el comienzo a las 2h 40m 51s del meridiano 90° y se localizó el epicentro a 358 km de Tacubaya, a los $16^{\circ} 21'$ de latitud norte y los $99^{\circ} 13'$ de longitud occidental, en el Océano Pacífico, al SE de Acapulco.

Los elementos del temblor y un estudio del mismo a partir de los sismogramas, se encuentran en otro artículo.

De acuerdo con la Escala de Mercalli, la intensidad en la ciudad de México fue solamente el grado VII, lo cual no pareciera justificar los daños sufridos en la capital. Sin embargo, la estimación de la intensidad fue

correcta.

Los movimientos del suelo fueron más bien lentos. El autor, que se encontraba despierto a esa hora en un segundo piso de un edificio de la Colonia Cuauhtémoc, a unos 300 metros de la Columna de la Independencia, contó 315 medias oscilaciones en 90 segundos, o sea un promedio de 1.75 oscilaciones completas por segundo, lo cual es bastante usual en estos casos.

Es difícil determinar la dirección aparente del movimiento, dadas las circunstancias del fenómeno, ya que uno se siente siempre inclinado a tomar las paredes del edificio como sistema de referencia y, además, por lo común las construcciones de cierto tamaño oscilan principalmente según su propia posición. Sin embargo, los primeros choques parecían venir en una dirección aproximada Norte-Sur.

El suministro de electricidad duró casi todo el temblor en la Colonia Cuauhtémoc y fue cortado en otras casi al principio del mismo. En todo caso, pocos minutos después del fenómeno casi toda la ciudad tenía un suministro de energía eléctrica bastante normal. Los cortos circuitos, algunos de los cuales eran claramente visibles desde los pisos altos, no fueron frecuentes y no se registraron ni accidentes ni incendios atribuidos a las instalaciones eléctricas.

Como no tenemos en la ciudad de México cañerías de gas para distribución a domicilio, no hubo ni incendios ni intoxicaciones por esta causa, excepto en uno de los edificios caídos, donde el gas escapó de los cilindros sin provocar incendios.

Las cañerías del agua sí se rompieron en algunos puntos de la ciudad ocasionando fugas, la mayor parte de las cuales fueron reparadas en menos de tres días. Los daños por esta causa no fueron serios. No hay informes de que el sistema de drenaje sufriera desperfectos de consideración.

Los daños ocurrieron principalmente en los edificios: una o dos grietas en el pavimento que se abrieron durante el temblor, no tuvieron la importancia que se les atribuyó en el primer momento y se debieron a rotura del pavimento mismo, por asentamiento del terreno subyacente. Es casi seguro

que bajo el pavimento había ya oquedades, o por lo menos el terreno estaba muy flojo y los movimientos del sismo solamente aceleraron un proceso que estaba a punto de ocurrir de cualquier manera.

Como se sabe, el área de máxima destrucción de un terremoto es generalmente muy pequeña y el que nos ocupa no fue una excepción. Es verdad que por casi toda la ciudad hubo bardas o tapias caídas y casas con uno que otro desperfecto, pero los grandes daños en los edificios ocurrieron en una pequeña zona perfectamente delimitada.

La figura I nos indica los límites exteriores de dicha zona, de forma elíptica irregular y una zona interna aproximadamente elíptica, donde los daños en los edificios tuvieron mayor frecuencia. Los límites trazados *no indican isosistas*.

El criterio seguido para la demarcación de ambas zonas, fue el siguiente: para trazar los límites exteriores de lo que podemos llamar, "área de daños importantes" o "zona de daños observados", se tomaron en cuenta los informes de testigos presenciales, los datos publicados por los periódicos, los datos de la policía, bomberos, etc., para llevar a cabo una inspección ocular y decidir, sobre el terreno, los límites de la zona, despreciando aquellos daños que, como la caída de bardas mal construídas o la aparición de pequeñas grietas en los edificios o la reaparición de viejas cuarteaduras recubiertas anteriormente con yeso, carecieron de verdadera significación sismológica.

Para el establecimiento de lo que llamaríamos "área de gran destrucción", colocada dentro de la "zona de daños observados" se tomó en cuenta la frecuencia de éstos, en relación con el número total de edificios por manzana de casas, estimando a ojo cuando era posible, extensiones iguales de una hectárea aproximadamente. Es curioso notar que esta zona, aproximadamente elíptica, tiene uno de sus focos colocados más o menos en las cercanías de la intersección de la Avenida Juárez con la de Bucareli, o sea aproximadamente en las vecindades del conocido "caballito" de Carlos IV. El otro foco estaría por la plaza Rubén Darío, en las vecindades de las calles de Guanajuato, a corta distancia de Frontera y Alvaro Obregón, donde un edificio de departamentos

vino a tierra ocasionando pérdidas de vidas.

El área de zona de "daños observados" tiene algo más de los 30 kilómetros cuadrados, pero la zona de gran destrucción no llega siquiera a los 25. Es decir, se confirma una vez más lo que ya se sabía del estudio de los terremotos destructores en diversas partes del mundo: que el área donde ocurren los daños severos es siempre muy pequeña en relación con el área total donde se sintió el temblor y que no en toda la zona mezosísmica ocurren pérdidas de vidas o destrucción de propiedades.

El temblor del 28 de julio fue sentido en una extensión de unos 350 000 kilómetros cuadrados, con lo cual vemos que, aún tomando en cuenta la destrucción de casas habida en el Estado de Guerrero, el área donde se observaron daños en las construcciones (sin tomar en cuenta si éstas habían sido construídas o no para resistir los terremotos) es del orden de 1/10 000 (un diez-milésimo) del área total donde fue sentido el movimiento. Esta relación de áreas no es para alarmar a nadie, sino todo lo contrario. Desea el autor una vez más llamar la atención sobre las observaciones anteriores, porque ellas simplemente confirman lo que ya se sabía acerca de la destrucción causada por terremotos y pueden llevar la tranquilidad a muchas personas alarmadas injusta e innecesariamente.

EL SUBSUELO Y LOS EFECTOS DEL TEMBLOR

Sin entrar en detalles sobre mecánica de suelos, es interesante comparar las áreas donde la destrucción fue grande con las áreas de la ciudad donde el subsuelo es tal que los hundimientos son mayores. En esta forma podemos hacernos una idea general del comportamiento del terreno durante un temblor: en efecto, en el caso de terrenos de poca o ninguna elasticidad, los llamados terrenos "anelásticos", los daños en las construcciones son mayores, debido probablemente a que las partículas que se desplazan por el movimiento no vuel-

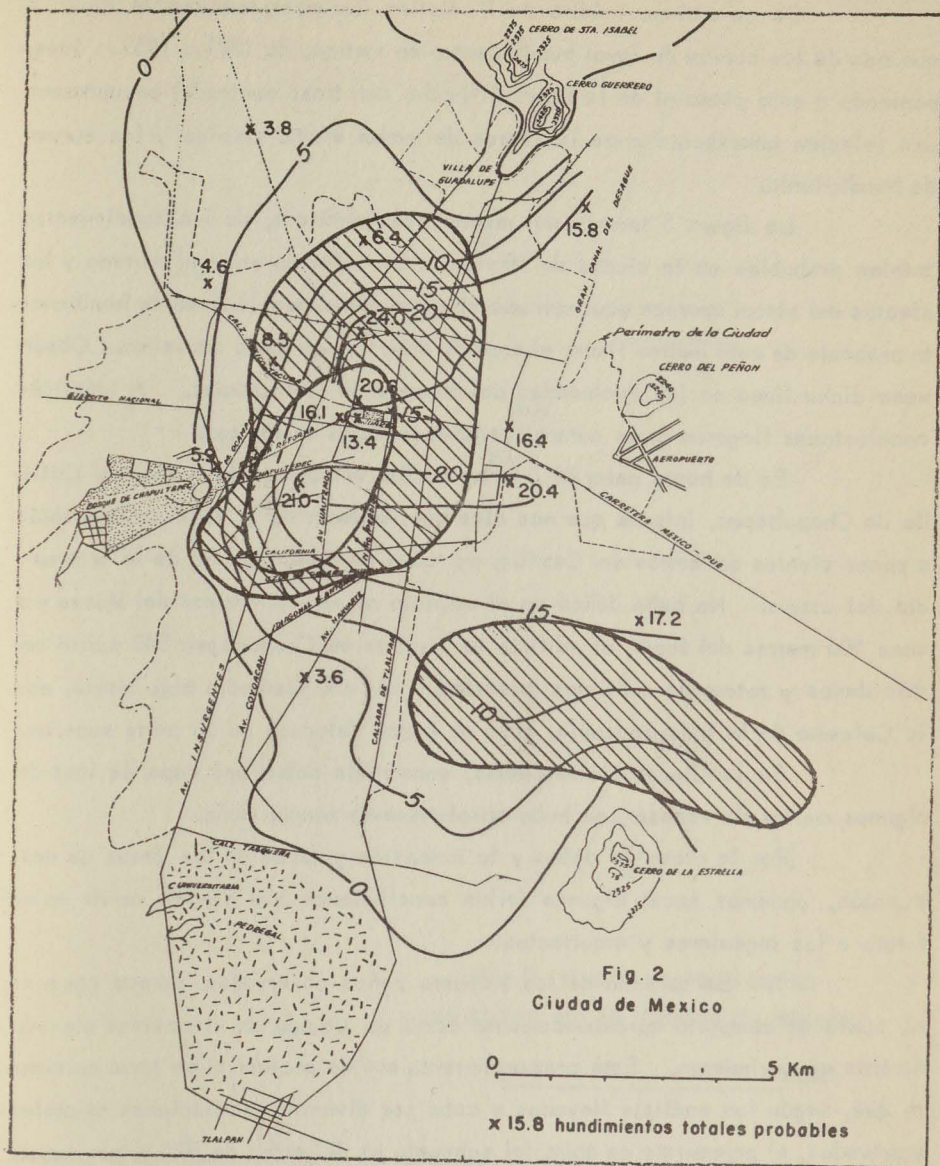


Figura 2
Curvas de igual hundimiento de la ciudad y áreas de daños observados.

ven jamás a su posición primitiva.

De un trabajo inédito de R. Molina Berbeyer tomamos la figura 2 que nos da las curvas de igual hundimiento, en metros, de 1891 a 1952. Superponiendo a este plano el de la figura 1 (hecho con trazo punteado) encontramos una relación interesante entre las áreas de mayor efecto sísmico y las curvas de hundimiento.

La figura 3 tomada del mismo trabajo citado, da los hundimientos totales probables en la ciudad de México. La relación entre el terreno y los efectos del sismo aparece aquí con una claridad meridiana: la línea de hundimiento probable de cero metros limita el área de daños de un modo clarísimo. Obsérvese dicha línea en las vecindades del Bosque de Chapultepec. A idénticas conclusiones llegaron otros autores utilizando datos diferentes.

Es de hacer notar el informe de los veladores del Museo del Castillo de Chapultepec, informe que nos dice que, a pesar de la destrucción habida a pocos cientos de metros del Castillo, no todos se dieron cuenta de la ocurrencia del sismo. No hubo daños en el edificio ni en las vitrinas del Museo y a unos 500 metros del lugar, el edificio de 7 pisos de Chapultepec 540 sufrió serios daños y rotura de múltiples cristales. A una distancia algo mayor, en la Columna de la Independencia, cayó el Angel colocado en su parte superior.

En la Ciudad Universitaria, construída sobre una capa de lava de algunos metros de espesor, no hubo absolutamente ningún daño.

Por la clase de daños y la extensión y forma de las áreas de destrucción, podemos sacar algunas útiles conclusiones que pueden servir en el futuro a los ingenieros y arquitectos.

1.- En la zona de los mayores daños observados, parece como si el suelo se comportó aproximadamente como un líquido de viscosidad elevada durante el movimiento. Este comportamiento era de esperar si se toma en cuenta que, según los análisis llevados a cabo por diversas instituciones oficiales y privadas, el porcentaje de agua del subsuelo es del orden de 70% o aún mayor.

2.- En las zonas donde no hubo destrucción, el suelo es firme o puede considerarse aproximadamente como tal y su comportamiento durante el

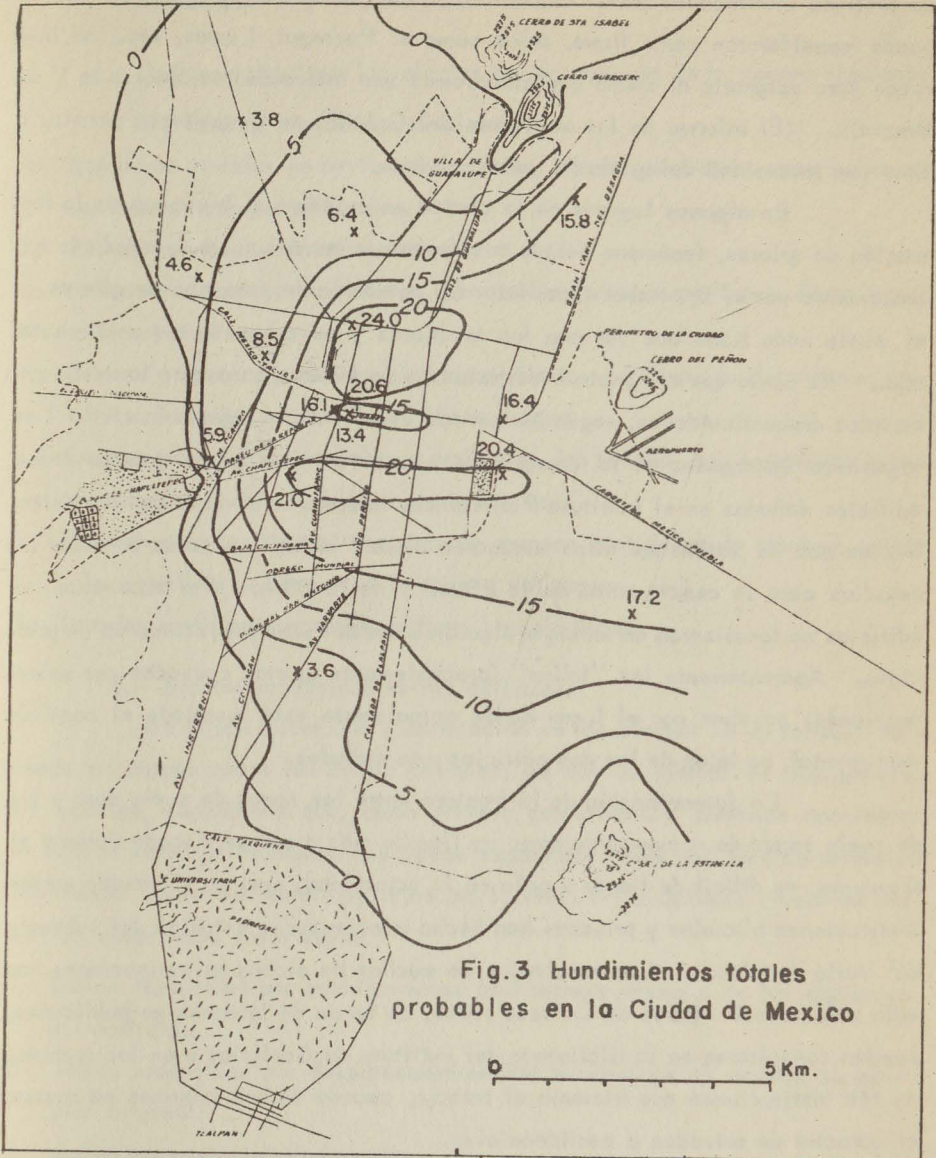


Fig.3 Hundimientos totales probables en la Ciudad de México

Figura 3
Hundimientos totales probables en la Ciudad de México

temblor fue el usual en estos casos. En efecto, los informes de gran número de testigos interrogados por el autor indican que, en los lugares donde el suelo puede considerarse como firme, tales como el Pedregal, Lomas, etc., no hay razón para asignarle al sismo que estudiamos una intensidad superior a la V de Mercalli. (El informe de los veladores del Castillo de Chapultepec permitiría fijar una intensidad del grado IV como máximo.

En algunos lugares de la ciudad se presentó el fenómeno de la formación de grietas, fenómeno debido a sobretensiones del suelo y estudiado extensamente por el Dr. Nabor Carrillo. La aparición de este tipo de grietas en el suelo nada tiene que ver con los temblores y es conveniente hacerlo notar aquí. Es obvio que al construir edificios ha de tomarse en cuenta la existencia de tales discontinuidades, según las normas usuales de la ingeniería civil. Los ingenieros encargados de la remoción de escombros y el apuntalamiento de los edificios dañados en el Instituto Politécnico, informaron al autor de la existencia de dos de éstas que ellos estimaron como "fallas", notadas al hacer los estudios para la construcción de la ESIME y de la ESIA. Por esta razón los edificios se localizaron en un lugar algo distante del sitio proyectado en un principio. Aparentemente las "fallas" (probablemente grietas causadas por sobretensiones) pasaban por el lugar donde actualmente está instalado el carrillón monumental, no lejos de los dos edificios más dañados.

La determinación de la frontera entre las zonas de suelo duro y las de suelo capaz de comportarse como un líquido más o menos viscoso durante el terremoto, es difícil de llevar a cabo en la actualidad, pero en el pasado varias instituciones oficiales y privadas han hecho concienzudos estudios del subsuelo del Valle de México. Los resultados de muchas de dichas investigaciones han sido publicados. Otros de los resultados, en forma de informes no publicados, pueden consultarse en la Biblioteca del Instituto de Geofísica o en los archivos de las instituciones que hicieron el trabajo, cuando dichos informes no revisten el carácter de privados o confidenciales.

EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL TERREMOTO

Podemos clasificar los efectos de un terremoto de la manera siguiente.

A.- Efectos producidos en el terreno:

- 1.- Rajaduras visibles en pavimentos, patios, carreteras y otras superficies planas construídas por el hombre.
- 2.- Rajaduras visibles en el terreno mismo.
- 3.- Grietas y roturas en pavimentos, carreteras y otras superficies planas construídas por el hombre.
- 4.- Grietas y asentamientos en el terreno mismo. Formación de cráteres pequeños, a veces con salida de arena o agua.
- 5.- Desplazamientos horizontales o verticales del terreno, con torceduras o roturas de las construcciones, cuando las hay.
- 6.- Derrumbes en los cerros, eyección de grandes cantidades de arena, o salida a la superficie de las capas inferiores del terreno.
- 7.- Grandes modificaciones topográficas y geológicas.

B.- Efectos producidos en los edificios:

Es difícil hacer una clasificación de los efectos de un temblor, tomando en cuenta todos los casos posibles, ya que su número es muy grande. Sin embargo, suponiendo que, como primera aproximación podemos considerar un temblor como un fenómeno que puede expresarse como una función armónica del tiempo (cosa que está muy lejos de la realidad), podríamos clasificar los efectos observados como sigue:

- 1.- Daños producidos por asentamientos (del terreno mismo o de los cimientos del edificio).
- 2.- Daños producidos por desplazamientos del terreno que no recobró su posición original.
- 3.- Daños por oscilaciones forzadas.
- 4.- Daños por resonancia.
- 5.- Efectos de grandes aceleraciones instantáneas, horizontales o verticales.

6.- Otros efectos, tales como rotaciones, proyecciones, etc.

En el temblor del 28 de julio de 1957 se observaron unos pocos de los efectos citados anteriormente, pero no tuvieron, ni con mucho, los caracteres alarmantes que se les atribuyeron en algunas de las noticias publicadas en los primeros momentos.

A.- *Efectos observados en el terreno.*

1.- Rajaduras visibles en pavimentos, patios o carreteras:

En varios lugares de la ciudad se observaron rajaduras en las banquetas y en el pavimento de las calles. Este tipo de daños puede producirse por varias causas: extensiones grandes de material quebradizo y de poco espesor, pueden romperse aún cuando se encuentren sobre terreno duro, si los desplazamientos verticales pasan de cierta magnitud; si el pavimento está sobre terrenos de relleno o, en general, sobre terrenos anelásticos capaces de asentarse, habrá aparición de rajaduras y aún de grietas de alguna importancia, debidas a los asentamientos del terreno. Este fue el caso de las rajaduras observadas en diversas partes de la ciudad. En todas ellas había cerca edificios de alguna altura que habían sufrido asentamientos ya antes del temblor. Golpeando con un martillo se notaba la presencia de oquedades bajo el pavimento en muchas de las rajaduras, oquedades que deben haber existido desde mucho antes.

Probablemente la mayoría de las rajaduras observadas en banquetas y calles se habrían formado de todos modos un día u otro. Como causa de destrucción, este fenómeno careció enteramente de importancia.

2.- Rajaduras en el terreno:

En una inspección ocular por toda la ciudad, inspección que duró varios días, ni el autor ni sus colaboradores observaron nada que se pareciera a rajaduras en el terreno. En las vecindades del Instituto Politécnico se observó una, de unos 5 ó 6 metros de longitud, pero un grupo de muchachos que jugaban al beisbol en el predio vacío donde apareció, informó al autor que "allí estaba

desde hacía muchos días". Es evidente que se trataba de un caso de "grietas por sobretensiones", fenómeno mencionado anteriormente y estudiado por el Dr. Nabor Carrillo hace algunos años.

3.- Grietas y roturas en pavimentos y carreteras.

Este tipo de fenómeno no fue observado en el temblor del 28 de junio de 1957.

4.- Grietas y asentamientos en el terreno. Formación de cráteres pequeños, a veces con salida de agua o arena.

No fue observada la formación de cráteres en ninguna parte de la zona mezosísmica, ni tenemos informes de la apertura de grietas, grandes ni pequeñas, en el suelo. Durante los primeros días después del terremoto se publicaron noticias en los periódicos sobre la formación de fisuras con desprendimientos de gases sulfurosos y hasta sobre el posible nacimiento de un "nuevo volcán" en el estado de Guerrero. Todas estas noticias no pudieron ser confirmadas y la mayoría de ellas fueron falsas alarmas dadas por gentes que "habían oído decir" a otros que "tenían informes acerca del fenómeno".

Siempre después de un terremoto circulan rumores y noticias sobre "nuevos volcanes", ya que las gentes siempre asocian el vulcanismo y los temblores de las maneras más absurdas.

Algunos asentamientos de poca importancia fueron observados en algunos lugares. Pero como la falta de mediciones previas impide determinar su verdadera magnitud y como, por otra parte, sólo se observaron en las proximidades de los edificios, este tipo de efectos será tratado al describir los daños en los edificios.

5.- No se observaron desplazamientos del terreno en ninguna parte de la República.

Tampoco se observaron los fenómenos descritos en los párrafos 6 y 7 de la sección A: "Efectos producidos en el terreno", con excepción de algunos derrumbes sin mayor importancia en el Cañón del Zopilote y en el kilómetro 353 de la carretera a Acapulco y en el Cantil, en la vieja carretera a Cuernavaca.

B.- Efectos producidos en los edificios.

1.- Daños producidos por asentamientos del terreno mismo o de los cimientos.

En terrenos como los que constituyen el subsuelo de la mayor parte de la ciudad de México, es de esperar que ocurran asentamientos durante un terremoto. Pero este fenómeno *no indica necesariamente* grandes componentes de aceleración vertical. En efecto, un subsuelo constituido principalmente por agua y que es en realidad una especie de lodo viscoso, se asienta fácilmente con cualquier movimiento horizontal o vertical cuya magnitud sea algo más que pequeña.

En las vecindades de edificios pesados, donde el equilibrio hidrostático está alterado, es de esperar la ocurrencia de deformaciones verticales de carácter permanente. Tales desplazamientos verticales ocurrieron en varios lugares, siempre bajo los edificios de algún peso, o en sus proximidades inmediatas.

Entre los lugares donde se presentaron daños debidos a asentamientos, podemos citar los siguientes:

1.- Hospital Infantil

En la entrada principal se observa un hundimiento del edificio del orden de 20 cm en relación con el nivel del piso de la banqueta, o de 30 cm respecto a las gradas de la entrada. En este hospital hubo rotura de algunos cristales y daños en las paredes de relleno colocadas entre columnas en el exterior del edificio. Las reparaciones comenzaron inmediatamente y un mes después los daños eran poco visibles, excepto el asentamiento mismo.

2.- Edificio de Recursos Hidráulicos

Un asentamiento del orden de 10 cm con rotura de la banqueta y del pavimento de la calle. Este edificio se dice que estaba en proceso de asentamiento aún antes del temblor.

3.- Edificio en construcción

En la esquina oriental de la intersección de Nilo y Paseo de la Reforma. Hubo aquí también rotura de la banquetta. El asentamiento fue del orden de 8 á 10 cm y pudo medirse gracias a que los ingenieros habían colocado marcas de pintura en las paredes, coincidiendo con otras marcas en las bardas adyacentes. El edificio estaba ya en proceso de asentamiento, como lo indicaba la diferencia de altura entre las marcas, diferencia que por curiosidad fue medida por el autor antes del terremoto.

4.- Edificio del Registro de la Propiedad

En Villalongín, frente al Monumento a la Madre. Hubo aquí un asentamiento con rotura de la banquetta y de las losas del piso. No fue determinado el orden de magnitud. El edificio, porticado, está montado sobre columnas de hormigón y sufrió además otros daños.

5.- Frente al Cine Mariscal

Hubo un asentamiento del terreno del orden de 15 cm y se abrió una grieta en el pavimento, de varios metros de longitud. Esta zona es una de las de mayor hundimiento en la ciudad y es probable que bajo el piso de la calle ya existiera alguna oquedad. Además, el material del suelo de toda esta zona es altamente compresible.

6.- Calle de Artículo 123

Se produjeron aquí reventaduras del pavimento a consecuencia de asentamientos del suelo que hicieron bascular el pavimento, levantándose por el extremo opuesto. En realidad, no fueron de gran importancia.

Se observaron daños por asentamientos en algunos otros lugares, pero su descripción tomaría mucho espacio. Podemos resumir los efectos del temblor sobre los cimientos como sigue:

- 1.- Además de los asentamientos que, si se efectúan de modo irregular dañan o pueden dañar seriamente las estructuras, en las cimentaciones piloteadas se observó un efecto de volteo en los bordes y en las esquinas, con aplastamiento, a veces, de los elementos de control.
- 2.- En general, parecen haber sufrido más daños los edificios montados sobre pilotes de madera que aquellos construídos sobre pilotes de concreto.
- 3.- En los edificios cimentados por superficie se pueden producir daños serios debidos a asentamientos desiguales ocurridos antes del sismo, o durante el mismo. Un terremoto puede agravar las condiciones ya existentes de los cimientos, provocando así daños graves, que de otra manera no se habrían producido.

- 2.- Daños producidos por desplazamientos del terreno, que no recobró su posición original.

Este tipo de fenómeno se observa como efecto de terremotos de gran intensidad en terrenos altamente compresibles y en las vecindades del epicentro, cuando los edificios están construídos sobre una falla que entró en actividad, o sobre los lugares donde hubo formación de grietas en el terreno.

En terrenos de relleno, flojos y carentes de elasticidad, es posible observar en ocasiones verdaderos "estiramientos" de algunas construcciones, con desplome de paredes y hundimiento de pisos.

El temblor del 28 de julio de 1957 no produjo daños de esta naturaleza, al menos hasta donde la información recogida por el autor permite determinarlo.

- 3.- Daños por oscilaciones forzadas:

La gran mayoría de los daños observados en los edificios se debió

a efectos producidos por oscilaciones forzadas sobre las estructuras, los muros y partes de las construcciones.

Un edificio se puede considerar como un sistema oscilante o conjunto de sistemas, cada uno de los cuales tiene un período propio. Si dicho período difiere de modo apreciable del período del movimiento del suelo, la construcción se comporta como un conjunto de sistemas pendulares sometido a oscilaciones forzadas. La teoría de las mismas, o el comportamiento de los edificios en esas condiciones, no necesita ser discutida en un informe preliminar como el presente.

En total, según los informes de las autoridades, fueron denunciados unos 1,500 casos de daños en los edificios. Ese número incluye todo tipo de desperfectos, desde leves hasta graves, ya que en general se denuncian los efectos que causan alguna pérdida en la propiedad privada, aún cuando el edificio mismo no hubiera resentido daños mayores. Tal es el caso de desprendimientos del yeso o del revestimiento de las paredes que, al caer sobre algún automóvil, causaron su destrucción, pero sin que la estructura misma del edificio sufriera averías de consideración.

El autor no observó todos los casos denunciados. Su estadística únicamente cubre 900, observados personalmente o con ayuda de uno de sus colaboradores.

Muchos tipos de daños son posibles, pero no vamos a analizar sino unos pocos, aquellos que se presentaron durante el temblor.

Considerando las construcciones como sistemas más o menos simples, podemos clasificar los daños del modo siguiente:

- | | |
|-----------|----------------------|
| | a) Derribado |
| | b) Resbalamiento |
| Daños por | c) Proyección |
| | d) Fractura y rajado |
| | e) Disgregación |

DAÑOS POR DERRIBADO

Muchos daños de este tipo fueron observados, especialmente en las

colonias proletarias y en los predios bardados con tapias mal construídas. Este tipo de daños, dramático por su número y por el aspecto que produjo en la ciudad, no ocasionó graves pérdidas económicas, ya que las bardas caídas no representan gran valor ni en dinero, ni en tiempo para reconstruirlas.

Un gran porcentaje de las bardas caídas que el autor vió (68%) estaban colocadas más o menos en dirección E. a W.

Las bardas y tapias que se construyen usualmente en México son fácilmente derribables como un bloque, especialmente aquellas que carecen de amarres a edificios vecinos, ya que carecen propiamente de cimientos, castillos u otras formas de darles solidez. Usualmente están constituidas por una sola hilera de ladrillos pegados con mortero de mala calidad. Sin embargo, es sorprendente observar que muchas de ellas cayeron en un solo bloque, sin disgregarse, lo cual prueba que no entraron en oscilación por resonancia antes de ser derribadas y que su caída puede considerarse como un caso de derribado, al menos como una primera aproximación.

Esta simplificación es útil, porque permite calcular el orden de magnitud de la aceleración del temblor que las tumbó.

En dos casos observamos el derribado de pilastras que cayeron sin disgregarse y que, por estar sujetas de un modo muy poco rígido a una barda (que también cayó hacia el mismo lado que las pilastras) pueden considerarse en primera aproximación como libres. Su poca altura (2 metros) y su construcción homogénea (una de ladrillo, la otra de concreto) permitieron determinar con rapidez sus centros de gravedad y de percusión. Suponiendo que descansaran simplemente sobre el suelo, es fácil calcular las aceleraciones y las amplitudes necesarias para derribarlas. Así podemos llegar a la determinación aproximada de la intensidad del temblor, siguiendo las fórmulas empíricas obtenidas por West y Omori a partir de algunos cientos de experimentos, haciendo notar que, por las condiciones de su construcción, tanto las aceleraciones como las amplitudes reales han debido ser algo mayores.

El error en la determinación experimental de las aceleraciones necesarias para derribar pilastras, rara vez pasa de 20 % y las discrepancias se

deben a que los pilares ensayados carecen siempre de una arista que haga las veces de eje de giro.

La primera pilastra estaba en las vecindades de la glorieta de Colón y sus dimensiones eran:

22.6 cm de sección y

186.4 cm de altura

o, para simplificar, 20 y 200 cm respectivamente. Esta era de concreto y descansaba sobre el suelo, ligeramente enterrada. Cayó hacia el sur y, con las simplificaciones que hemos supuesto, la aceleración necesaria para derribarla fue de 98.1 cm/seg^2 , aceleración horizontal que es del orden de un décimo de la aceleración de la gravedad, precisamente.

Con la segunda pilastra tuvimos mucha suerte. Ubicada en las vecindades de las calles de Puebla, al oeste de las calles de Sonora, detrás y a unos 200 metros del edificio de Chapultepec 540, que sufrió bastantes daños, sus dimensiones eran:

10.4 cm de sección y

208 cm de altura

o, para simplificar, 10 y 200 cm respectivamente. Cayó hacia el norte y la aceleración horizontal necesaria para derribarla era del orden de 49 cm/seg^2 .

Si estas fueron las aceleraciones máximas registradas en ambos lugares (y por la inspección de otros daños podemos suponer con fundamento que no fueron mucho mayores) entonces en las cercanías de las glorietas Colón y El Caballito, el terremoto ha de haber sido de intensidad IX de la Escala de Sieberg (aceleraciones entre 50 y 100 cm/seg^2) mientras que, allá por las vecindades de la glorieta de Chapultepec, la intensidad del temblor fue sólo del grado VIII de la misma escala. (Aceleraciones entre 25 y 50 cm/seg^2).

Este decrecimiento de la intensidad corresponde muy bien a los cambios en la constitución del subsuelo, tal como se observa en los mapas geológicos de la ciudad y en el plano de la figura 3 que nos indica los hundimientos

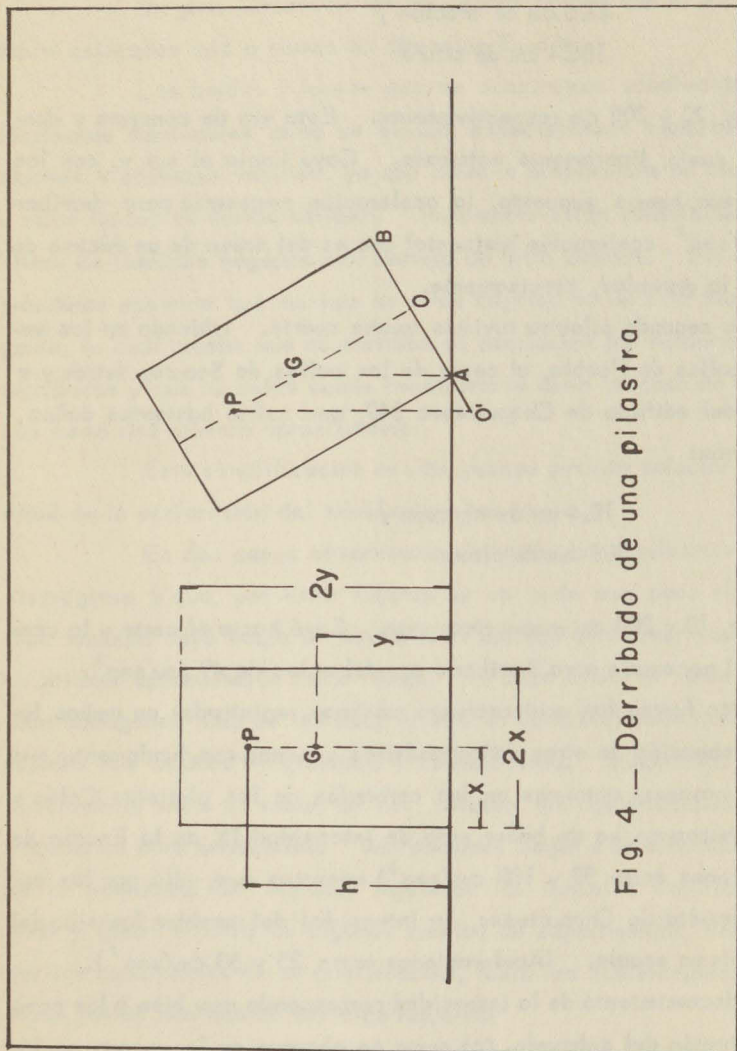


Fig. 4.— Derribado de una pilastra.

Figura 4
Derribado de una pilastra

probables: la línea de cero hundimiento pasa por las vecindades de la segunda pilastra y los informes de los testigos en el Castillo de Chapultepec apenas si permiten darle al temblor allí una intensidad IV (1.0 á 2,5 cm/seg² de aceleración horizontal).

Vemos aquí que debemos multiplicar los datos de Tacubaya por un factor de 2 y hasta de 4 para tener una idea de lo que ocurre en el suelo altamente compresible de la parte baja de la ciudad.

Consideremos ahora el caso en que las fuerzas hayan sido aplicadas a ambas pilastras de modo impulsivo: la mecánica elemental nos enseña que la altura del centro de percusión está dada por

$$h = \frac{\frac{x^2 + y^2}{3} - y^2}{y} = \frac{x^2 + 4y^2}{3y}$$

en la cual x es la mitad de la sección, siendo y la mitad de la altura.

En la figura 4 se ilustra bien el caso del derribado de una pilastra: si PO' es la vertical que pasa por el centro de percusión P , la pilastra caerá hacia la izquierda cuando la vertical que pasa por el centro de gravedad G caiga fuera del eje de giro colocado en A . Se puede considerar que la distancia OO' es igual a la doble amplitud $2A$ del movimiento necesario para derribar la pilastra y

$$A = \frac{x(x^2 - 4y^2)}{6y^2}$$

mínima amplitud del movimiento necesaria para tumbar un objeto.

El período de un movimiento oscilante armónico simple capaz de producir el derribado, estaría dado por

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 A}{a}}$$

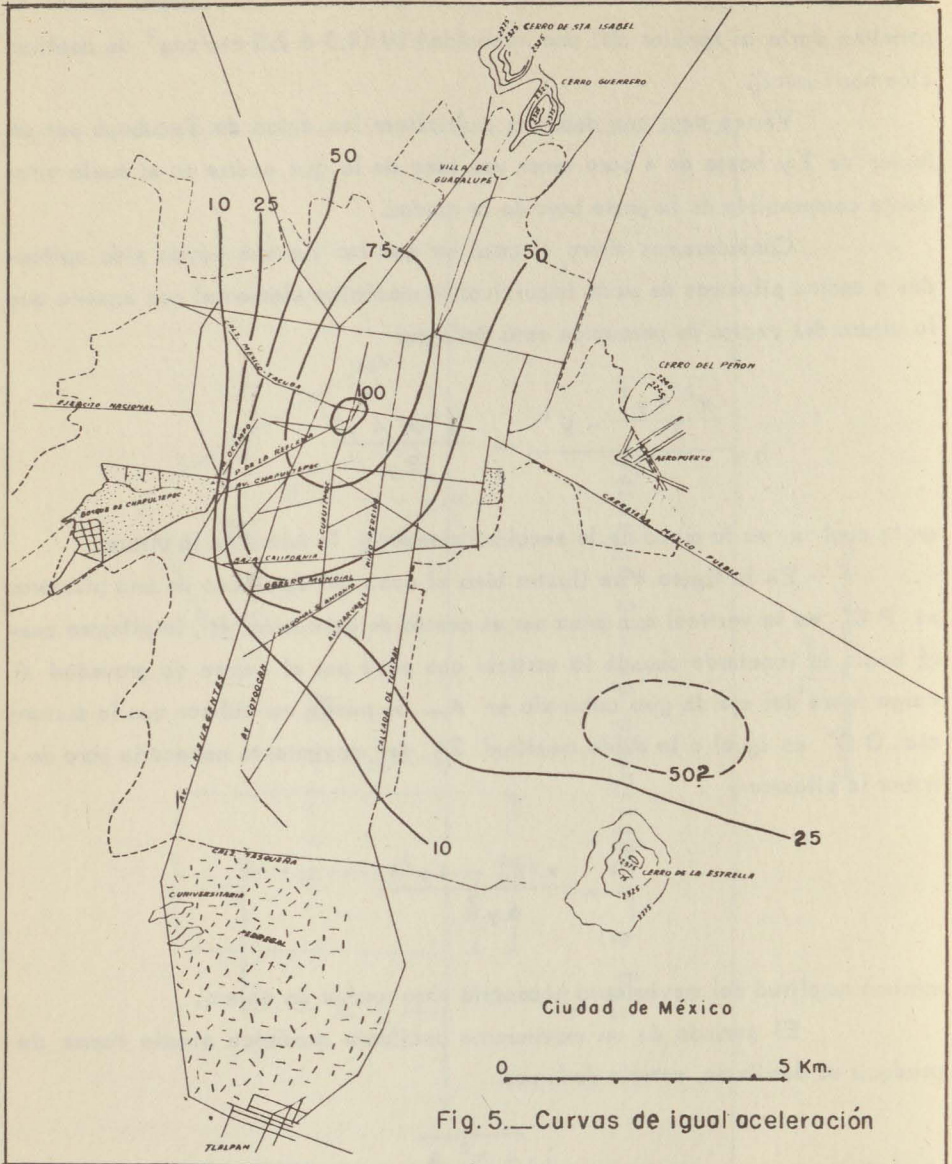


Fig. 5.—Curvas de igual aceleración

Figura 5

Curvas de igual aceleración: cm/seg^2

en la cual A es la amplitud y a la aceleración.

Calculando las amplitudes y los períodos necesarios para derribar las dos pilastras citadas, llegamos a los siguientes resultados:

Pilastra cerca de la glorieta de Colón:

Amplitud del movimiento: 6.58 cm

Aceleración del movimiento: 98.1 gals

Período del movimiento: $\sqrt{2.6454} = 1.6 \dots$ segundos.

Pilastras en las calles de Puebla:

Amplitud del movimiento: 3.33 cm

Aceleración del movimiento: 49.05 gals

Período del movimiento: $\sqrt{2.6775} = 1.6 \dots$ segundos.

Como se ve, los períodos corresponden bastante bien con las observaciones de Tacubaya y con otras observaciones de otros tipos.

Del mismo modo se examinaron unos 80 objetos de forma prismática, caídos en distintos rumbos de la ciudad y los resultados obtenidos nos permitieron trazar algunas curvas de aceleraciones, las cuales se ilustran en la figura 5.

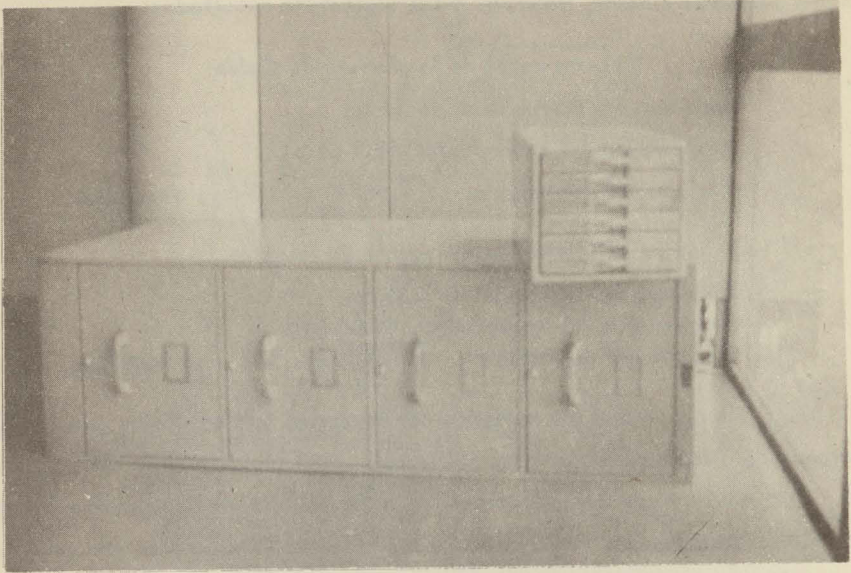
Es interesante examinar el caso de cuerpos en que la relación x/y sea constante. Si dicha relación es, por ejemplo, de $1/5$ bastará una máxima aceleración de 196 gals para derribarlos siempre que las amplitudes pasen de 0.67 cm para $x = 1$ cm o de 67 cm para $x = 100$ cm.

En el primer caso necesitamos un período igual o inferior a

$$T_1 = \sqrt{\frac{4 \pi^2 \cdot 0.67}{196}} = 0.37 \text{ segundos}$$

mientras en el segundo caso el período ha de ser 10 veces mayor o sean 3.7 segundos.

El primer cuerpo es derribable por un terremoto "muy destructor" (grado X de Sieberg), mientras que el segundo no lo será, pues exigiría para ello movimientos de amplitudes mayores a las registrados en los más violentos



Fotografía

Un archivero derribado en el 5o. piso del edificio de Chapultepec 540. El kardex se encontraba sobre el archivero, el cual estaba al lado izquierdo de la columna. Es un caso típico de derribado, sin resbalamiento.

terremotos, tales como los de Mino-Owari, Tokio o Assam.

Lo anterior explica por qué algunos edificios de sección insignificante, como algunos de los que existen en México o muchos rascacielos norteamericanos, resisten admirablemente los terremotos. Es el mismo caso de la Columna de la Independencia, que no se ha caído con los temblores de los últimos 40 años. Pero es que dichas construcciones, aún si carecieran de cimientos, son inderrribables en una sola pieza. En estas condiciones la excelencia de los materiales y su trabazón libran a la construcción de los accidentes de fractura, rajado y disgregación. Oscilando monolíticamente, el único peligro es el derribamiento, que ya hemos visto que es imposible.

Un caso interesante de analizar es el del edificio ubicado en Chapultepec 540, que el autor estudió el mismo día del temblor y en días subsiguientes. Recién construido, sufrió bastantes averías, especialmente en sus pisos tercero y quinto, consistentes en rajaduras y fracturas de las paredes de relleno, desprendimiento del enyesado de paredes y plafones, etc. En el interior hubo desplazamiento y derribado de muebles pesados, especialmente en los pisos tercero, sexto y séptimo. En el sexto, por ejemplo, una pesada caja fuerte que, dicho sea al pasar, estaba montada sobre ruedas como todas las de su tipo, se desplazó hacia el sur más de un metro y giró noventa grados.

En el piso séptimo un archivero de metal vacío cayó hacia el norte. Un tarjetero tipo Kardex que estaba colocado encima, se encontró colocado sobre el costado del archivero, como puede apreciarse en la fotografía. Ignoramos como ocurrió el fenómeno.

En este edificio, si tomamos en cuenta los objetos derribados en el suelo y en sus cercanías, la amplitud del movimiento ha debido ser, también en el suelo, del orden de 3 á 3.5 cm, con un período de 1.6 segundos o cosa así.

A la altura del quinto piso, los muebles derribados indicaban aceleraciones del orden de 323 gals y amplitudes de 15 cm. Sin embargo, el período del movimiento en dicho piso, calculado por el derribado de cuatro o cinco muebles diferentes cuyos centros de gravedad se determinaron experimentalmente y cuyas aristas proveían un buen eje de giro, fue del orden de 1.3 á 1.4

segundos, lo que corresponde muy bien a los datos del Observatorio y a los obtenidos por cálculo en otros puntos de la ciudad.

El edificio estuvo sujeto a oscilaciones forzadas y osciló según una forma compleja. De haber oscilado monóticamente no habría sufrido daño alguno, pues con amplitudes de 15 cm a 25 m de altura, el ángulo de los desplazamientos del edificio habría sido del orden de 21 á 23 segundos de arco, incapaz de producir fracturas u otros daños.

Varios otros edificios fueron examinados en forma parecida, obteniéndose en todos una información similar en cuanto a los períodos y las aceleraciones.

En esa forma se determinaron períodos y amplitudes, además de aceleraciones máximas, para obtener los datos de la figura 5.

En resumen:

- 1.- Por los daños de derribado, podemos concluir que las aceleraciones horizontales, del orden de 90 gals en uno de los focos de la elipse que limita la zona de grandes averías, disminuyeron con rapidez hacia los bordes de la misma.
- 2.- Los límites de al menos la parte occidental de dicha elipse, corresponden bastante bien al cambio en la constitución geológica del subsuelo, observándose daños mayores en los lugares donde el terreno es anelástico, altamente compresible y constituido en su mayor parte por agua.
- 3.- El período (si de tal cosa puede hablarse) del movimiento destructor, fue del orden de 1,5 segundos, indicación valiosa para la construcción y diseño de los edificios.
- 4.- Las amplitudes del movimiento del suelo disminuyeron al pasar de la parte baja de la ciudad a las zonas de terreno más firme. La idea popular de la "protección contra sismos debida al "colchón de agua" que constituye el subsuelo de la ciudad", es enteramente errónea.

- 5.- Los datos sismológicos de Tacubaya en lo que a aceleraciones y amplitud del movimiento se refieren, han de multiplicarse por un factor que puede llegar a 5 (o tal vez más) para tener idea de lo que puede ocurrir en la parte baja de la ciudad, donde las condiciones del terreno son peores.

DAÑOS POR RESBALAMIENTO

No observó el autor ninguno propiamente dicho, pues el caso de algunas cajas fuertes desplazadas de su sitio y que aún efectuaron rotaciones, como las observadas en el séptimo piso de Chapultepec 540 o en el sexto de Lafragua 4, no es de resbalamiento, ya que las cajas estaban montadas sobre ruedas, mohosas y cubiertas de orín si se quiere, pero que facilitaron el movimiento e hicieron imposible el cálculo de las condiciones en que se efectuó.

Por otra parte, el coeficiente de fricción es siempre muy elevado y las aceleraciones necesarias para el verdadero resbalamiento de los objetos usuales de los edificios, sobrepasan los 300 V ó 400 gals.

DAÑOS POR PROYECCION

Solamente se observó uno: la caída del Angel de la Columna de la Independencia. Aún cuando las condiciones no eran las más favorables para su estudio, debido a las circunstancias de la caída, el autor procedió a hacerlo así debido a la publicidad que se le dió a la citada avería.

El ángel cayó hacia el sur y el autor tuvo la suerte de poder medir y fotografiar todo lo que que quizo, escasos diez minutos después del accidente, cuando únicamente había en sus vecindades un solitario policía asustado, como es de suponer.

Ya hemos dicho por qué la Columna de la Independencia, al igual que muchos rascacielos, puede considerarse como inderribable con temblores ordinarios.

Las dimensiones del ángel y su masa, son pequeñas en comparación con las de la columna.

Llamando como antes,

H a la altura desde la que cayó un cuerpo pesado

a' a la aceleración máxima horizontal

g a la aceleración de la gravedad y

S a la separación, o sea la distancia que media entre el punto donde debiera quedar el objeto de haberse simplemente caído y el punto donde efectivamente quedó,

Si excluimos el rodado, rebote y oscilaciones, más que probables en un caso como estos y admitimos como primera aproximación que el objeto en cuestión está colocado sobre otro, rígido y de superficie plana, es fácil llegar a la ecuación siguiente:

$$a' = \sqrt{\frac{g}{2}} \times \frac{S}{H} , \text{ o aproximadamente}$$

$$a' = \frac{2.2S}{\sqrt{H}} \quad \text{que nos da la aceleración horizontal ca - paz de producir el fenómeno.}$$

En el caso de la caída del Angel de la Independencia obtenemos aceleraciones del orden de 60 cm/seg². En realidad, la aceleración verdadera ha debido ser mucho mayor, pero encontramos un valor que es intermedio entre el cálculo para la parte baja de la ciudad y el encontrado para la zona que traza el límite entre dicha parte baja y las Lomas de Chapultepec.

Del examen de unos 60 objetos caídos en comercios y casa de habitación en diversos lugares de la ciudad y del derribado de bardas y otros objetos, podemos trazar algunas curvas de igual aceleración horizontal, curvas que damos en la figura 5.

Estas curvas son, sin embargo, solamente aproximadas y no deben tomarse más que como una guía, o como una idea general. Nosotros las damos

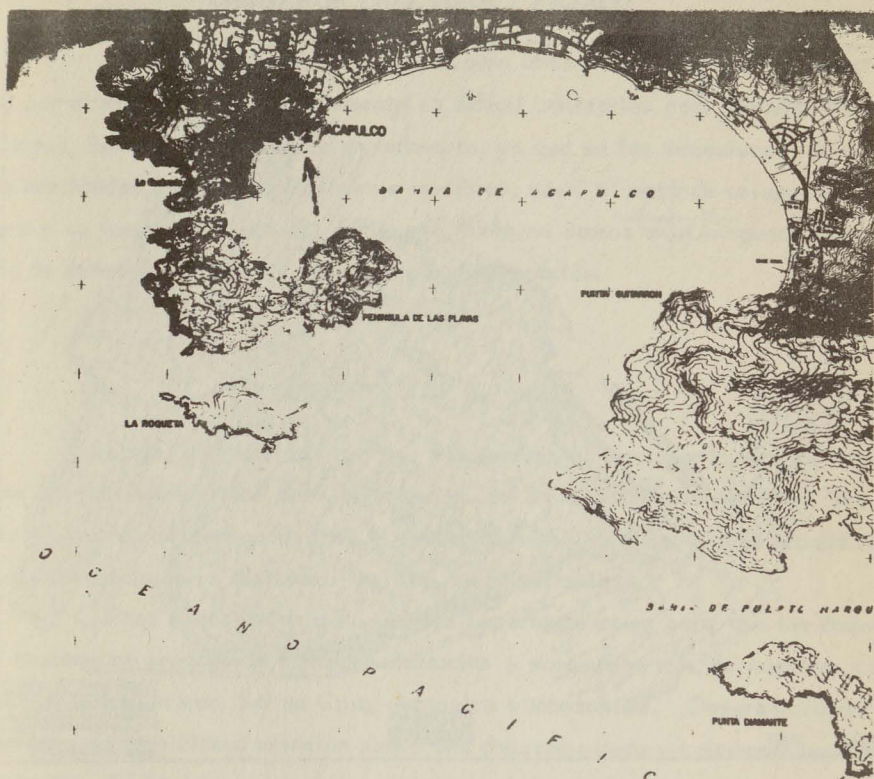


Figura 6
Bahía de Acapulco. La flecha indica la situación del mareógrafo.

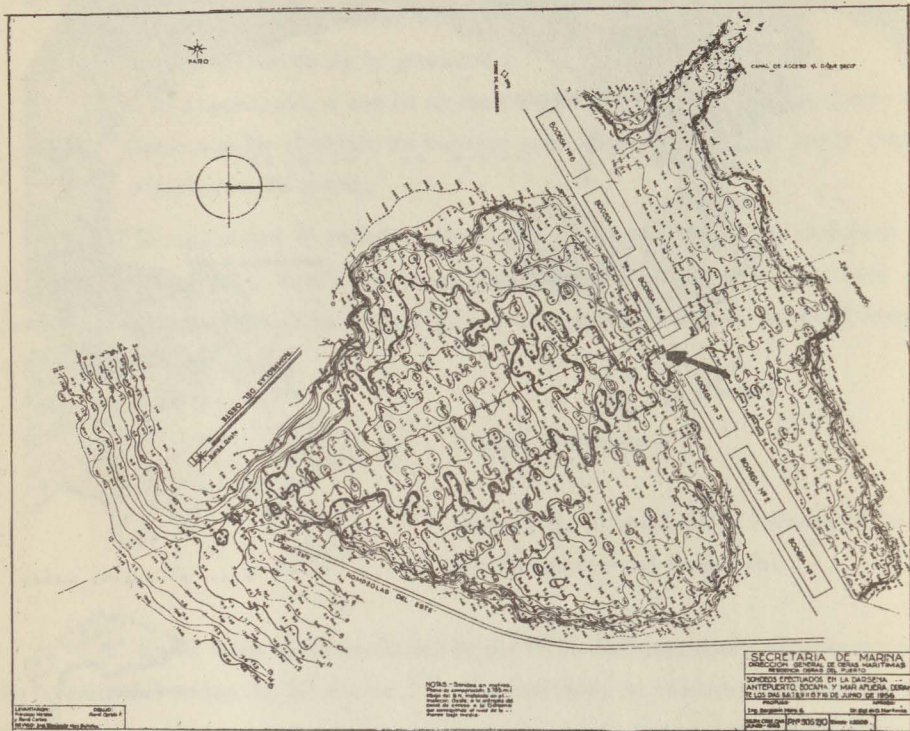


Figura 7

Puerto de Salina Cruz. La línea gruesa indica la profundidad de 10 m y la flecha, la posición del mareógrafo.

con todas las reservas del caso.

DAÑOS POR FRACTURA Y RAJADO

Muchos de estos fenómenos fueron observados en las áreas afectadas por el sismo. Desgraciadamente es difícil utilizarlos para calcular aceleraciones, fuerzas o períodos de un terremoto, ya que en las ecuaciones intervienen cantidades que no son fácilmente medibles, como el peso de columnas y pilares y su fuerza de cohesión. Por esa razón no damos aquí ninguna descripción de daños por fractura y rajado ni por disgregación.

EFFECTOS EN EL MAR

Dada la intensidad con que fue sentido el movimiento, era de esperarse que los mareógrafos del Departamento de Oceanografía registraran "tsunami" u ondas de maremoto, pues el epicentro, como se sabe, estaba localizado a poca distancia de la costa del Pacífico, en pleno océano.

Pero el movimiento no fue tan importante como para que las ondas del tsunami se propagaran a grandes distancias y solamente tres de nuestras estaciones lo registraron: Salina Cruz, Acapulco y Manzanillo. Desgraciadamente el aparato de esta última estación sufrió una descompostura y solamente registró el principio del fenómeno.

Los mareógrafos de Acapulco y Salina Cruz están instalados en condiciones muy diferentes: el primero está en el fondo de una bahía protegida y el segundo en un puerto artificial. La figura 6 ilustra la bahía de Acapulco: una flecha indica la posición del mareógrafo. La figura 7 ilustra el puerto de Salina Cruz. La línea gruesa indica el contorno de la profundidad de 10 metros y la flecha indica la posición del mareógrafo. La figura 8 indica la posición del epicentro respecto a la costa, en plena Trinchera Mesoamericana.

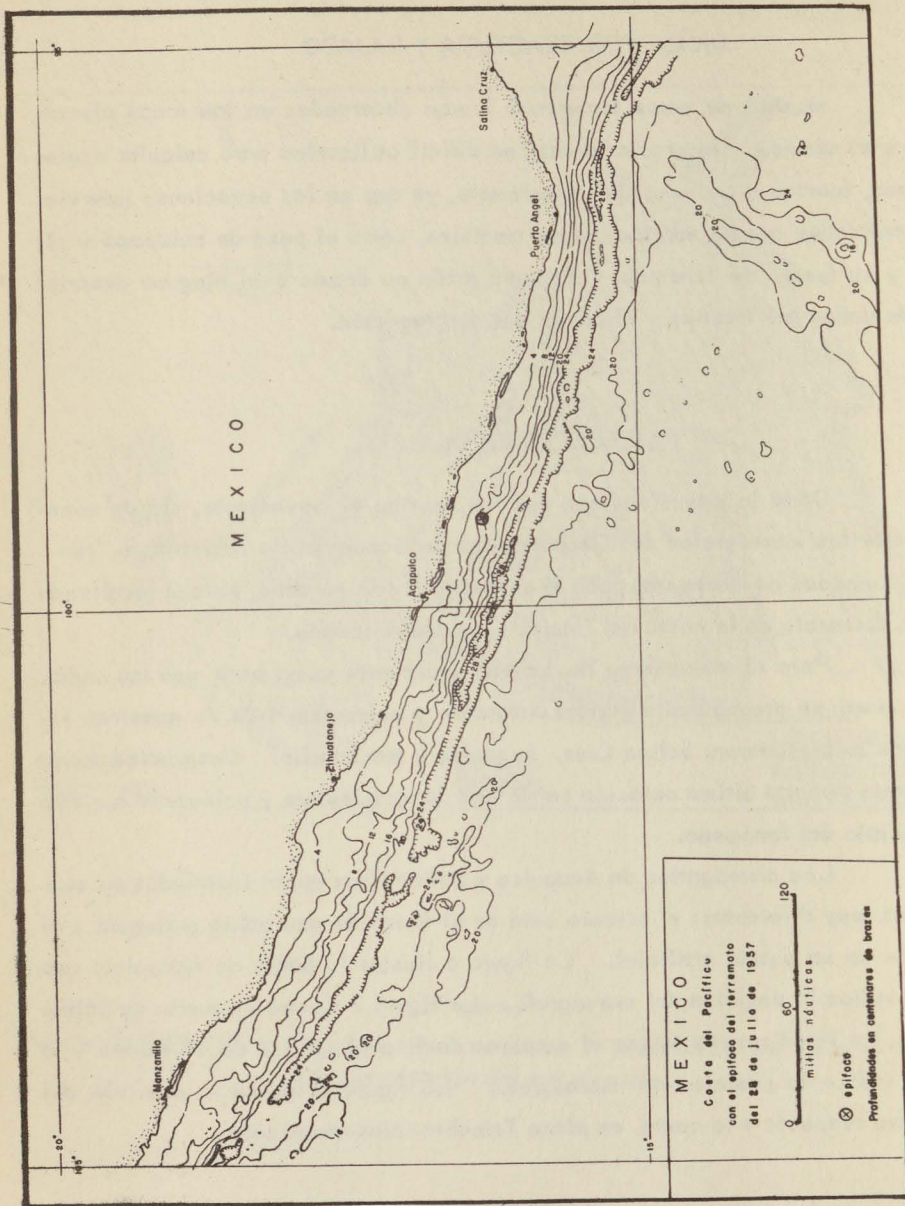


Figura 8
Epicentros del terremoto del 28 de julio y Triángulo de Involuntades.

Los datos más salientes que se pueden obtener de los mareogramas son los siguientes:

	Acapulco	Salina Cruz
Hora epicentral (Meridiano 90° W)	2h 40m 00s	2h 40m 00s
Hora de llegada de la onda inicial	2h 53m	4h 07m
Distancia del epicentro (círculo maximo)	83.5 km	401.9 km
Velocidad de propagación	384.8 km/h	277.1 km/h
	208.0 nudos	149.8 nudos
	106.9 m/seg	77.0 m/seg
Subida inicial	0.5 pies; 0.152 m	
Bajada inicial		0.9 pies; 0.274 m
Amplitud máxima	8.5 pies; 2.591 m	1.1 pies; 0.335 m
Duración total	20h 07m	11h 20m
Período de las oscilaciones	30m	30m

Llama poderosamente la atención el hecho de que el período fuera sumamente constante e igual en ambas estaciones.

Tanto en Acapulco como en Salina Cruz se presenta el fenómeno de los seiches, pero ninguno de los dos puertos es resonante a oscilaciones de 30 minutos de período.

Como primera aproximación pueden considerarse ambos puertos como canales rectangulares. Afinando los cálculos, ambos pueden tomarse como cuencas triangulares. Pero en ningún caso encontramos resonancia a media hora de período, por lo que la causa de la igualdad de ellos hay que buscarla en otra parte.

La explicación del fenómeno debe buscarse probablemente en la configuración del fondo del mar, que constituye una guía de ondas.

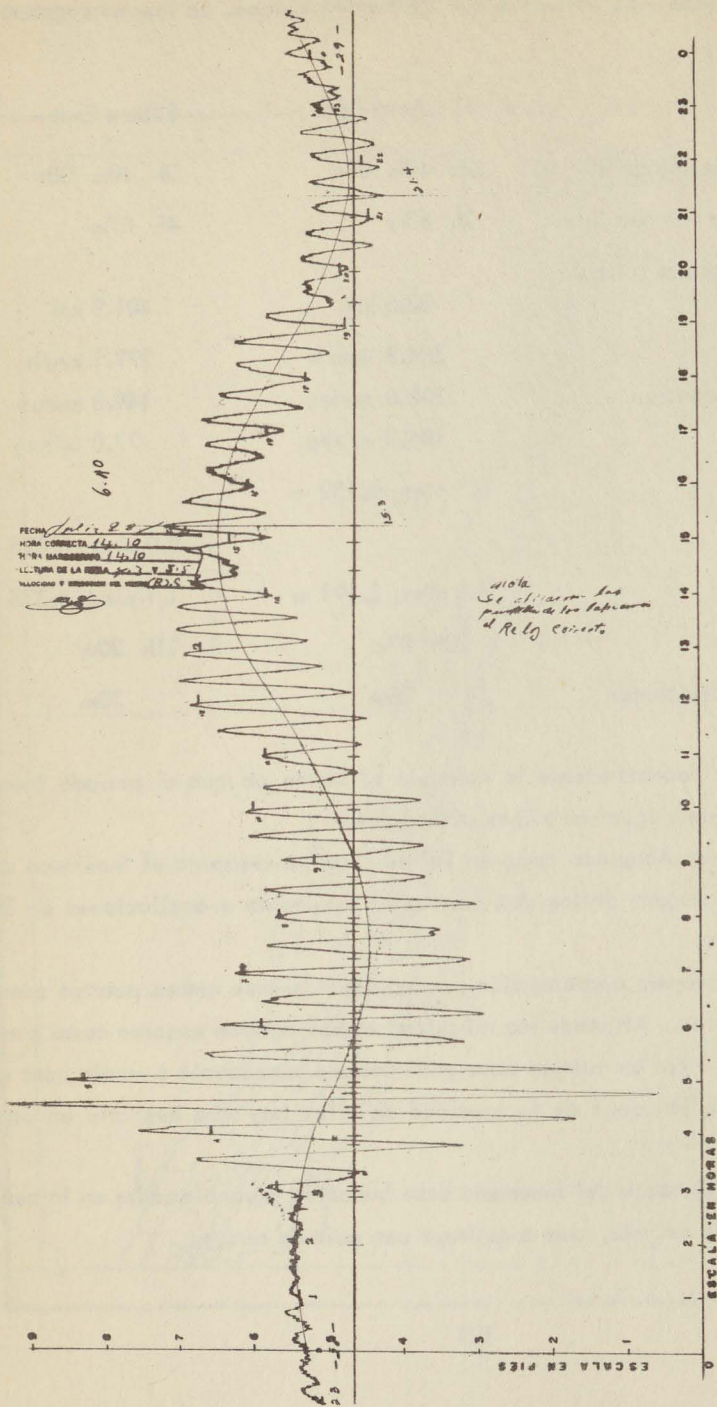


Figura 9
Mareograma obtenido en Acapulco, Gro. La línea central, trazada posteriormente, indica la curva normal de la marea.

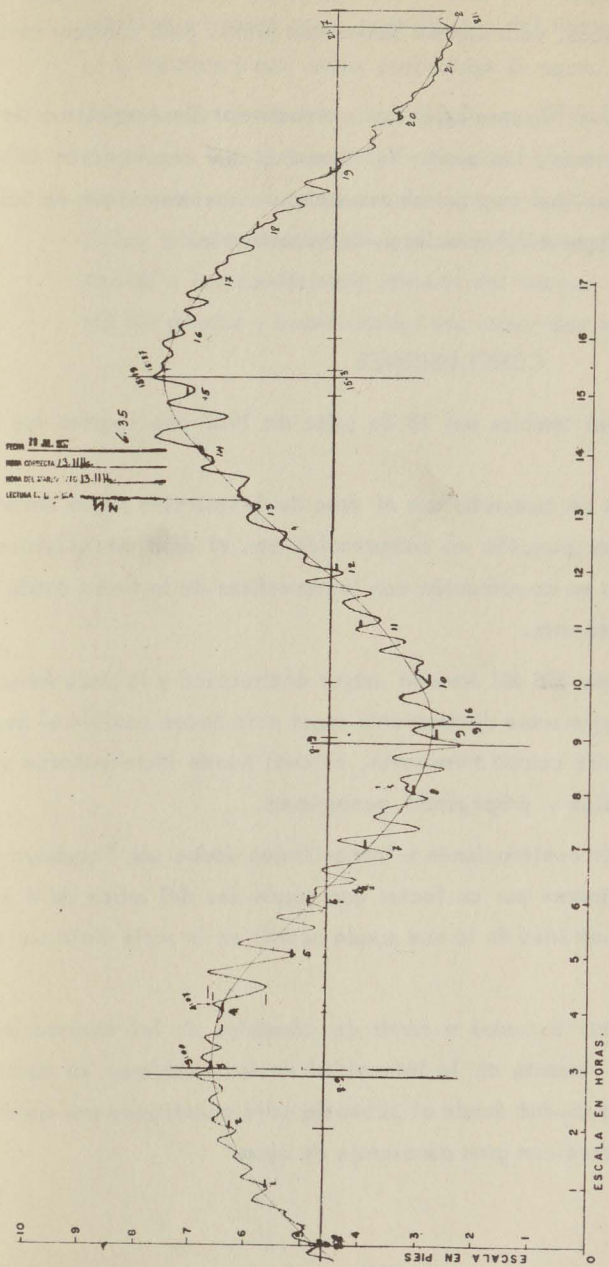


Figura 10
 Mareograma obtenido en Salina Cruz, Oax. La línea central, trazada posteriormente, indica la curva normal de la marea.

Nosotros hemos comenzado a atacar el problema a partir de las ecuaciones de movimiento, después de haber fracasado al intentar resolverlo por analogías eléctricas o acústicas, pero aún es demasiado pronto para publicar resultados ciertos.

Las figuras 9 y 10 reproducen los mareogramas de Acapulco y Salina Cruz. Como se observará, las ondas del tsunami, muy regulares en ambos puertos, fueron de una amplitud muy grande en Acapulco, mientras que en Salina Cruz, a 401.9 km de distancia, carecieron de importancia.

CONCLUSIONES

El estudio del temblor del 28 de julio de 1957 nos sugiere las siguientes conclusiones:

- 1.- Una vez más se comprobó que el área de destrucción de un terremoto es siempre pequeña en comparación con el área mezosísmica y muy pequeña en comparación con la superficie de la tierra donde se siente el terremoto.
- 2.- La poca extensión del área de mayor destrucción y la poca frecuencia de los terremotos destructores en el país hacen posible el negocio de seguros contra terremotos, el cual puede incrementarse mediante estudios y propaganda posteriores.
- 3.- Los datos de aceleraciones e intensidades dados por Tacubaya deben multiplicarse por un factor que puede ser del orden de 4 á 5, para tener una idea de lo que puede ocurrir en la parte baja de la ciudad.
- 4.- Las isosistas trazadas a partir de cómputos de las aceleraciones indican un aumento en la intensidad de los temblores en aquellas partes de la ciudad donde el subsuelo está constituido por materiales anelásticos con gran porcentaje de agua.

- 5.- El límite de los daños observados corresponde a bruscos decrecimientos en las aceleraciones, los cuales corresponden a su vez a cambios notables en la constitución del terreno, que pasa a ser duro y elástico y con menor porcentaje de agua.
- 6.- Algunos de los daños observados no son siempre imputables directamente a los terremotos, los cuales actúan en muchas ocasiones solamente como una causa secundaria que pone de manifiesto los daños que ya existían, o que se habrían producido de todos modos debido a las condiciones mismas del terreno. En estos casos están las grietas y hundimientos tan conocidos en la ciudad de México.