

EL TERREMOTO DE JALTIPAN, VER. DEL 26 DE AGOSTO DE 1959

J. Merino y Coronado*

RESUMEN

A report is given on the earthquake which destroyed Jáltipan, Ver., and damaged other cities. Damage to buildings is analyzed and accelerations are computed by simple formulae which, although not absolutely exact, may be useful for engineers which work in the field, under unfavorable conditions. Iso-accelerations lines are given, which closely agree to those determined instrumentally when this was possible.

The area of observed damage was of some 2200 square kilometers and the shock was felt in some 450 000 square kilometers.

Again, damage to buildings was due primarily to poor design and workmanship or defective materials.

Accelerations were computed from the geometrical form of objects which fell down or from broken columns or walls also of simple form.

A series of pictures showing damage to buildings is discussed in the text.

*Instituto de Geofísica de la UNAM, e Instituto Nacional de la Investigación Científica.

Al amanecer del 25 de agosto de 1959 se registró un macrosismo que sacudió fuertemente los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas.

Según los datos del Servicio Sismológico de Tacubaya, la magnitud del sismo fue de 6.5 de la escala de Richter y comenzó a registrarse en Tacubaya a las 2h 26m 44s del meridiano 90° W (8h 26m 44s T.U.). La distancia epicentral de 550 km de Tacubaya coloca el epicentro a 25km frente a Coatzacoalcos, a los 18° 27' N y 94° 16' W.

Fue sentido en una gran área que incluye Progreso y Chixulub en Yucatán y la ciudad de México en el Distrito Federal y arruinó total o parcialmente varias poblaciones: Coatzacoalcos, Minatitlán, Soconusco, Jáltipan, Acayucan, Chinameca, Nanchital, Oluta, San Lorenzo, Texistepec, Peña Blanca y algunas otras más.

La carretera transísmica, la carretera para Minatitlán y Acayucan y algunos otros caminos sufrieron daños que se calificaron de graves en el primer momento, así como la vía férrea transísmica, que también sufrió trastornos.

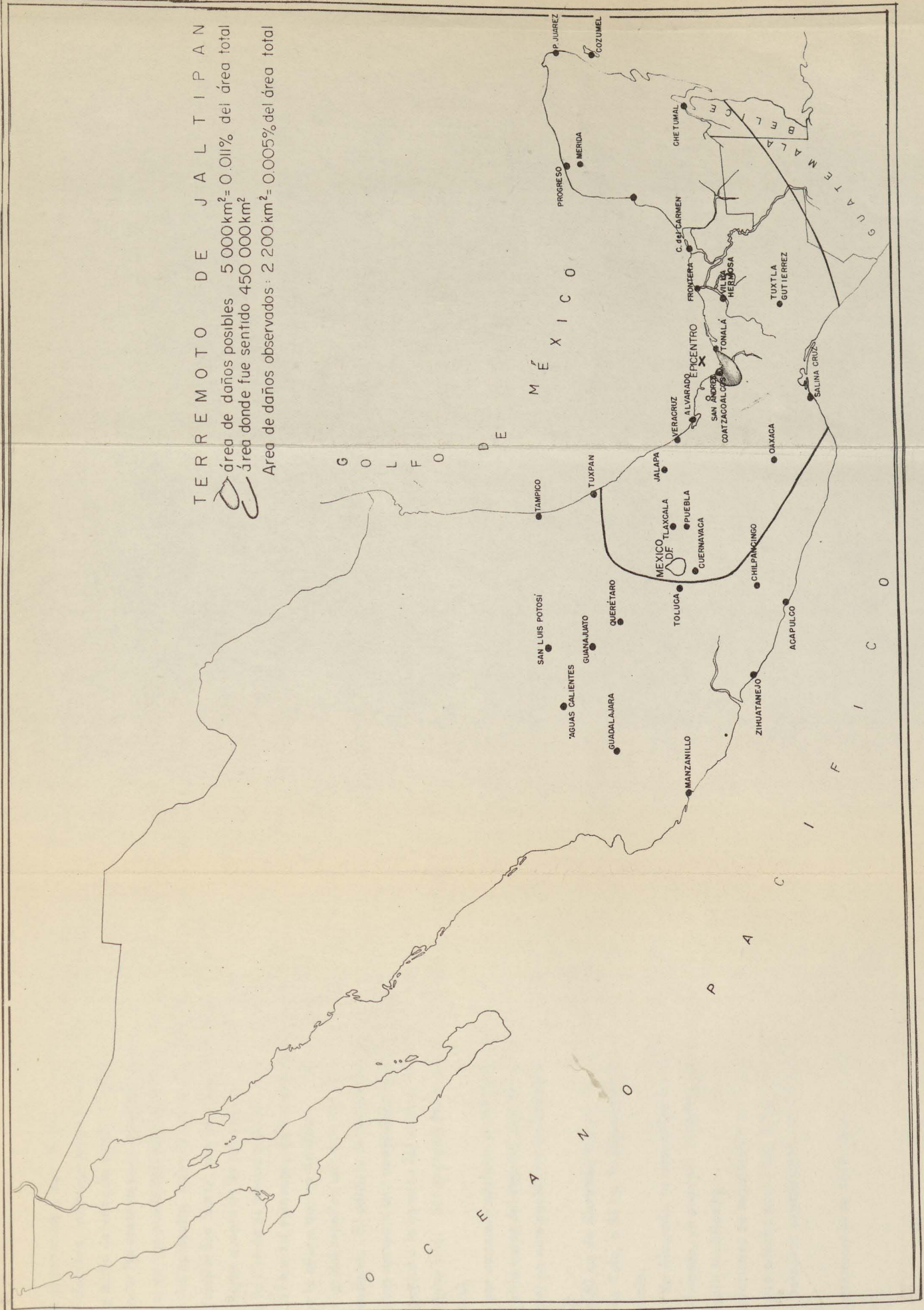
Hubo pérdidas de vidas y muchos heridos: en Jáltipan murieron unas 20 personas y 4 más perdieron la vida en Coatzacoalcos. Los heridos sextuplican las cifras anteriores.

Ya que la mayor destrucción y las mayores pérdidas en vidas y haciendas se registraron en Jáltipan, Ver., llamaremos a este macrosismo "el terremoto de Jáltipan."

Como en todo terremoto destructor, el área de destrucción fue pequeña, comparada con la gran área en donde se sintió. Esta última fue de unos 450 000 km² en la República Mexicana, mientras que la primera se limitó solamente a unos 2200 km², (Fig. 1).

A juzgar por los primeros informes y dada la proximidad del epicentro, era de suponer que la destrucción de Coatzacoalcos debería haber sido casi total y que un tsunami de importancia debió haberse producido en ese puerto. Sin embargo, las cosas no ocurrieron así y el mareógrafo instalado en Coatzacoalcos no registró absolutamente nada. Por demás está decir que tampoco registraron nada los mareógrafos instalados en otros puertos del Golfo de México.

TERREMOTO DE JALTIPIAN
 área de daños posibles 5 000 km² = 0.011% del área total
 área donde fue sentido 450 000 km²
 Área de daños observados: 2 200 km² = 0.005% del área total



Con objeto de estudiar el terremoto y sus efectos, el autor hizo un recorrido en automóvil por toda la zona afectada, interrogó personalmente a más de 800 personas, revisó unas 2 200 casas y midió decenas de objetos volteados o movidos de su lugar, con el fin de tratar de calcular las aceleraciones producidas por el sismo y los períodos de los movimientos, si es que puede hablarse de tal cosa en un temblor.

En Veracruz, a 233 km del epicentro, todas las personas entrevistadas estuvieron de acuerdo en que "el temblor fue fuerte, pero no tanto como dicen". Parece ser que algunas gentes ni se dieron cuenta de su ocurrencia. No hubo daños. La intensidad ha debido ser V de la Escala de Mercalli Modificada, como máximo.

En Alvarado, Ver., a 161 km del epicentro, en la desembocadura del Río Papaloapan, las cosas ocurrieron lo mismo que en Veracruz. Dos o tres paredes de otras tantas casas perdieron algo del repello: una de ellas era una pared de adobes de una casa de construcción antigua. El edificio de la Residencia de Obras de Puerto de la Secretaría de Marina presenta una cuarteadura sin importancia en la pared del frente, que va de una puerta a la esquina del edificio y en las bardas vecinas hay tres o cuatro cuarteaduras más. Sin embargo, todas estaban allí (Fig. 2) y no se agravaron con el terremoto.

En San Andrés, 35 km por carretera adelante de Alvarado, no se observaron daños en las casas, ni en las chimeneas del ingenio, que tienen más de 20 m de altura. La intensidad del temblor en este pueblo no fue tampoco mayor de V de la Escala de Mercalli Modificada.

En Lerdo de Tejada, a 40 km de Alvarado; en Sta. Teresa; en Angel R. Cabada, a 46 km de Alvarado y en Tula, a 54 km, la intensidad del temblor fue igualmente V de la mencionada escala.

En Tapalapan, a 65 km de Alvarado, la intensidad fue igualmente V y en Santiago Tuxtla, a 70 km de Alvarado, ya podemos asignarle al terremoto una intensidad VI de la Escala de Mercalli Modificada.

No hay en realidad poblaciones de importancia en todo el trayecto de la carretera que sube los montes tierra adentro para bajar luego a Acayucan, hasta llegar a esta población. Las pocas personas entrevistadas en esta zona (14) no pudieron aportar mayor información.

Ya en la zona de gran destrucción se observaron unos 180 objetos derriba-

dos por el terremoto, mediante los cuales fue posible calcular aproximadamente las aceleraciones horizontales necesarias para provocar el fenómeno. La Fig. 3 da las curvas de isoaceleraciones, determinadas por este método.

El problema del derribado de objetos durante un temblor es muy complejo y ha sido tratado extensamente por muchos autores: West, Omori, Galitzin y otros en años pasados y recientemente por Yasumi y Akao. Las ecuaciones que describen dicho fenómeno pueden llegar a ser muy complejas y de difícil aplicación en el campo. Nosotros, como primera aproximación, utilizamos las ecuaciones más sencillas de West y de Galitzin y las aplicaciones más simples de la mecánica elemental. Se obtienen así resultados que pueden diferir hasta un 20% de la realidad o de los cálculos hechos con métodos más refinados, pero estimamos que, para el ingeniero que estudia un terremoto con fines ingenieriles en nuestras ciudades y comunidades rurales, tal aproximación es suficiente y permite examinar rápidamente decenas de casos en poco tiempo. (Ver Anales del Instituto de Geofísica, Vol. 3, pp. 89 y sigtes.)

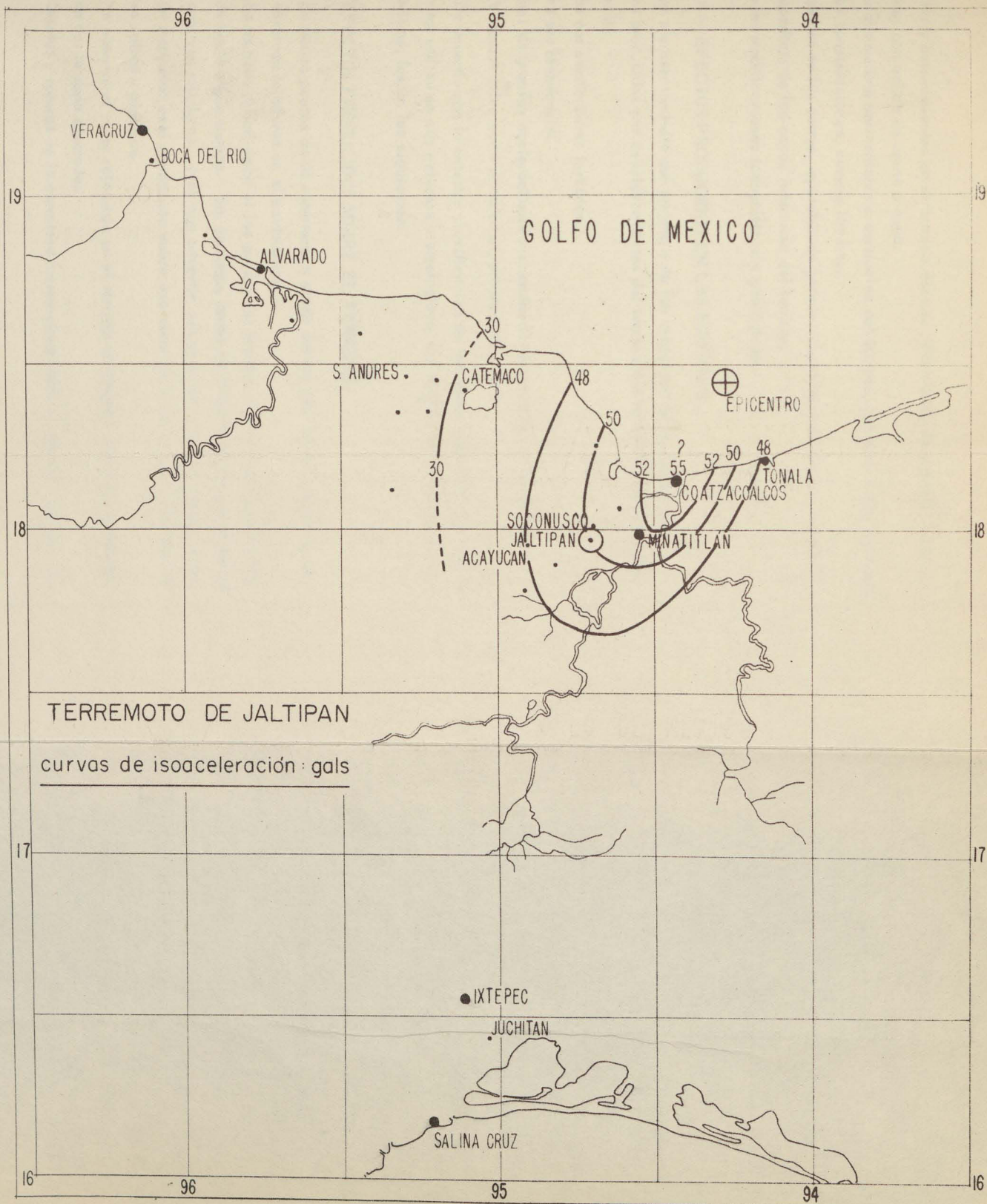
Se observaron y midieron 25 casos de proyección, en la misma forma que los de derribado y los resultados concordaron con los resultados obtenidos en las mediciones de objetos derribados. *En ningún caso las aceleraciones horizontales calculadas excedieron los 60 cm/seg², lo cual apenas sobrepasa ligeramente la intensidad VIII de la Escala de Mercalli Modificada: 25-50 cm/seg².*

¿Por qué, entonces, tanta destrucción? ¿Serán inconvenientes nuestros métodos de observación y de medida, o habrá otras causas?

Pasemos revista a los daños observados, manteniendo la clasificación que utilizamos en el estudio del temblor del 28 de julio de 1957, que es la 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

- 1 Daños por asentamiento del terreno o de los cimientos de los edificios.
- 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 y verticales.
- 6 Otros efectos tales como rotaciones, proyecciones, etc.

De acuerdo con la anterior clasificación de los daños observados, que es la que el autor utiliza en sus estudios sismológicos, los efectos producidos sobre el terreno mismo, fueron los siguientes:

EFECTOS PRODUCIDOS SOBRE EL TERRENO:

- A 1.- En varios puntos de la carretera, a partir del km 245 desde Veracruz, se observan rajaduras en el pavimento.
Es un poco difícil decir si las produjo el temblor, o si ya estaban allí desde hacía algún tiempo. Sin embargo, antes de llegar a Acayucan no se observaron rajaduras. Hay que advertir, sin embargo, que la carretera antes de Acayucan está construida sobre una serie de lomas que ofrecen una base sólida y elástica.
- A 2.- No observó el autor rajaduras en el terreno en ninguna parte de su recorrido por la zona afectada.
- A 3.- Grietas y roturas en la carretera fueron observadas en varios lugares. En

el kilómetro 250 se observaron algunas grietas transversales de más de 15 cm de ancho, debidas a asentamiento de un relleno que allí hay. Un kilómetro más adelante había grietas en sentido longitudinal, también sobre terreno de relleno, con falla del talud.

Las mayores grietas se observaron en el tramo de carretera comprendido entre la desviación a Mintatitlán y el entronque con la carretera a Villa Hermosa, Tab., algunas de las cuales cubrían una longitud de más de un kilómetro. Sin embargo, el fenómeno no se debió a la gran intensidad del temblor, sino a las condiciones del subsuelo, flojo, pantanoso, con gran contenido de agua y por ello altamente compresible. El 28 de julio de 1957 se observó un fenómeno similar en las calles de Artículo 123, en México, D. F. En la carretera a Coatzacoalcos, las condiciones son peores: el camino está contruido sobre un relleno que atraviesa una zona pantanosa que en partes está cubierta de agua claramente visible y en partes está cubierta por vegetación típica de los pantanos: aráceas y gramíneas acuáticas. Allí donde la consistencia del terreno cambia, se producen grietas transversales, como es el caso de los asentamientos en los rellenos hechos sobre los tubos de alcantarilla que dan paso a los arroyos. Sobre el pantano, los taludes fallan parcialmente y la cuneta se separa del pavimento mismo, formando una larga grieta longitudinal, o el pavimento se agrieta en igual forma. Pero el fenómeno no indica grandes aceleraciones y hasta es probable que ya hubiera comenzado a producirse como consecuencia del tráfico pesado. Estas consideraciones son válidas igualmente para los daños observados en las vías del ferrocarril.

- A 4.- Observó el autor unas pequeñas grietas en el terreno en las cercanías de Coatzacoalcos, cuya formación se debió a las mismas causas de las grietas en la carretera. No tuvieron mayor importancia. Ninguna de las 800 o más personas entrevistadas dio informe alguno acerca de ningún otro fenómeno de este tipo, ni el autor vio nada más.

Antes de pasar revista a los daños ocasionados a las construcciones, es conveniente revisar someramente lo que podríamos llamar "efectos sobre las personas"

CARACTERISTICAS DEL TERREMOTO

Como es usual en estos casos, pocas personas fueron capaces de dar informes más o menos objetivos y creíbles. Sin embargo, a pesar de que la gran mayoría fue despertada por el temblor, de 600 personas interrogadas en las poblaciones de Coatzacoalcos, Minatitlán, Jáltipan, Acayucan y Soconusco, 450 estuvieron de acuerdo en que "al menos al principio se sentía un fuerte movimiento trepidatorio." Parecería lógica la observación tratándose de Coatzacoalcos, dada la proximidad del epicentro.

No sabemos nada del modo como comenzó, dada la hora de su ocurrencia, pero las 600 personas interrogadas en el área afectada concordaron en que terminó "tan bruscamente como empezó, con fuertes movimientos laterales que dificultaban caminar". Ni una sola persona apreció una dirección determinada. Otras 200 ó 250 personas interrogadas fuera del área de los grandes daños, dieron las informaciones usuales en estos casos, que no aportan nada nuevo.

La amplitud del movimiento del suelo no fue grande, a juzgar por los objetos derribados: botellas, libros, imágenes de santos, bardas y pilastras que cayeron en un solo bloque, indican que el movimiento del suelo (los desplazamientos laterales) ha debido ser del orden de 3 á 3.5 cm, lo que no es mucho. Desplazamientos de 3 á 4 veces esa cifra no impiden la marcha cuando se les experimenta en un carro de ferrocarril o en un camión. Es casi seguro que el natural terror que se siente en estos casos, más que los desplazamientos reales del terreno, fue la causa de la paralización momentánea de los observadores.

Si consideramos el período de un movimiento armónico simple capaz de derribar los mismos objetos cuando la amplitud es del orden de 3 á 4 cm, vemos que ha debido ser del orden 1 á 1.6 segundos. Este dato es importante para los ingenieros.

En cuanto a la duración, que podemos estimar por los registros de los sismógrafos como entre 30 y 40 segundos en la fase principal, los informes de los observadores entrevistados son enormemente disímiles y van desde el de una aterrorizada ama de casa que dijo que "no podría decir cuanto duró exactamente, pero fueron más

de cinco minutos", hasta el de un trasnochador de Jáltipan, según el cual "fue un ruido horrible y un gran movimiento del suelo, como de una batidora y al voltear la cabeza ya se habían caído las casa y la iglesia".

A pesar de todo, los informes de las víctimas muestran - una vez depurados - que la fase destructiva del temblor no duró más de 40 segundos. Probablemente sólo unos 36. Es conveniente interrogar siempre a los testigos sobre lo que hicieron durante el temblor, para fijar luego aproximadamente el tiempo que se tardaría en ejecutar los mismos movimientos tan apresuradamente como se pueda. El autor lo hizo así y en unos 35 casos pudo obtener que las víctimas repitieran todos sus movimientos mientras se las cronometraba con un cronógrafo de bolsillo. En esta forma se obtuvieron datos sobre la fase destructiva del temblor, que permiten fijarle una duración de unos 35 á 36 segundos.

La destrucción producida por un terremoto, cuando ocurre, viene pronto. Los primeros 40 segundos son los peligrosos en todo macrosismo. El autor da las siguientes reglas de seguridad para las personas que desgraciadamente sean testigos de un sismo destructor:

- 1.- Es inútil correr, agitarse o desesperarse. Cuente hasta 50 con toda la calma que pueda y después de eso decida lo que ha de hacer. Transcurrido ese tiempo, la mayor parte del peligro habrá pasado.
- 2.- Usualmente las paredes caen *hacia fuera*. Por eso los lugares más seguros dentro de los edificios son aquellos más alejados de las paredes exteriores y de las ventanas o puertas, especialmente si éstas tienen muchos vidrios o cristales.
- 3.- En casos de hundimientos de techos y pisos, los lugares más seguros son los marcos de las puertas, o cerca de las columnas o marcos rígidos de las contrucciones, ya que las junturas de las traveses y las columnas y los marcos de las puertas son los últimos en caer.
- 4.- Muchas personas se han salvado colocándose bajo mesas, camas o mostradores, los cuales aseguran una especie de bóveda que conserva suficiente aire en casos de derrumbe, para subsistir mientras llega ayuda exterior.
- 5.- Los lugares más expuestos son las banquetas o aceras, porque allí caen

las ornamentaciones de los edificios vecinos, o las paredes de los mismos. Si está en la calle durante un temblor, no se quede en la banquetta, sino salte a media calle. Pero si la calle es estrecha no se gana mucho con ello y es hasta preferible meterse en el marco de una puerta exterior.

- 6.- Los edificios modernos más o menos bien contruídos rara vez se hundien o disgregan y los daños que sufren no son tan severos como para hacer peligrar la vida. Más peligro hay en las estampidas y carreras provocadas por el pánico.

El período (si es que puede hablarse de tal cosa) y los desplazamientos calculados indican que el terremoto de Jáltipan tuvo una intensidad menor que la del terremoto del 28 de julio de 1957. El período, sin embargo, fue del mismo orden de magnitud aproximadamente.

Un buen número de personas reportó la ocurrencia de ruidos subterráneos durante el temblor y unas pocas (22) afirmaron haber despertado con dichos ruidos, para sentir el sismo inmediatamente después.

Unas 72 personas afirman haber visto "resplandores en el cielo" durante y después del temblor. Sin embargo, ni una sola pudo precisar la dirección aproximada de dichos resplandores, "de un color rojizo", según unos, o "color de sangre", según otros. El cielo estaba cubierto y la noche era oscura según más del 80 % de los testigos, lo cual permite suponer que los citados resplandores podían ser reflejos de las llamas de los gases que se queman en las instalaciones petroleras de Minatitlán, en las nubes bajas que había en el cielo en la madrugada del día del sismo.

Unas 15 personas afirman haber visto caer al mar lo que probablemente fuera un aerolito. Este fenómeno, si en verdad ocurrió, no tiene relación alguna con los terremotos.

En esta ocasión, como en varias otras ocasiones similares, se habló del nacimiento de un nuevo volcán y hasta afirmaron algunas gentes haber visto animales chamuscados que huían de un determinado cerro. Un interrogatorio concienzudo reveló siempre que, o no tenían informes de primera mano, o se trataba de gentes cu-

yo deseo principal era el de hacerse publicidad.

LAS CONSTRUCCIONES EN LA ZONA AFECTADA

No hay en toda la zona ciudades grandes: ni Coatzacoalcos, ni Minatitlán, las dos más importantes, pueden considerarse como tales. Con pocas excepciones, los edificios son de una sola planta, o a lo sumo dos. Los materiales de construcción se obtienen en la región misma, excepto el cemento, la cal y el yeso y -en los tiempos recientes- la varilla de acero y son de buena calidad: arena para el mortero o el concreto; piedra para este último y arcilla para los ladrillos y tejas que se cuecen al aire libre en hornos primitivos. Desde hace poco tiempo se fabrican también ladrillos huecos de arena y cemento, muy livianos, según las técnicas actuales.

En las ciudades y pueblos, la mayor parte de las casas es de ladrillo, con paredes hechas de una sola hilera de ellos. Como el terreno es en general relativamente sólido (excepto en la zona pantanosa, donde hay pocos pueblos) las casas viejas carecen de verdaderos cimientos. Muchas de ellas están montadas sobre una simple zanja de poca profundidad (unos 50 ó 75 cm) que se llenó de cascotes y mortero. Para las ventanas y las puertas se deja en la pared un agujero rectangular, en cuya parte superior se coloca una viga de madera del mismo grueso de los ladrillos y sobre ella se colocan ladrillos hasta completar la pared.

Sorprende la ausencia de castillos u otros métodos de amarre en las esquinas, o en el centro de las paredes de alguna longitud.

Las dimensiones de los ladrillos son más o menos las siguientes: $29 \times 14 \times 6$ cm y con ellos se erigen columnas de unos 30×30 cm de sección por 3 ó 3.5 m de altura, enfrente de la pared de la fachada, para sostener una viga de madera que a su vez soporta la techumbre y se tiene así un corredor frente a la casa. A veces estas columnas soportan arcos, también enteramente de ladrillo, formando portales que, naturalmente, no están unidos ni trabados con el resto del edificio.

Los techos son de teja, bastante pesados. En tiempos de lluvias estas tejas, que no están vidriadas, pueden llegar a absorber su propio peso de agua, según pudo comprobarlo el autor y están colocadas sobre un emparillado transversal, con lo cual es muy fácil que se deslicen hacia abajo y que caigan por los espacios que

existen entre el enrejado de madera, soportado por vigas de lo mismo, colocadas en caballetes de dos aguas. Toda la techumbre está soportada por las paredes, principalmente la frontera y la trasera.

Este tipo de construcción antigua, la más frecuente en la región, es una invitación a las fallas y accidentes durante un temblor: la carencia de dadas para la repartición de las cargas, la ausencia de castillos y de amarres entre las paredes y los techos pesados con tejas sin ninguna sujeción, hacen que los edificios se abran en las esquinas con cualquier movimiento algo más que ligero.

A veces se observa que el mortero utilizado para pegar las hiladas de ladrillos (cal y arena) de las casas más viejas, era de mala calidad y la mano de obra no era todo lo buena que fuera de desear.

Muchas casas fueron construidas en tiempos de las antiguas compañías petroleras, hace más de 40 años. Prácticamente todas las casas contruidas según se ha dicho, fallaron y sufrieron deterioros de mayor o menor consideración.

En Jáltipan, en Acayucan, en Soconusco y en muchos otros lugares, existen casas de una o dos plantas, de construcción más reciente, *hechas exactamente con los mismos materiales*, excepto las techumbres que son de concreto, de lámina metálica, o de lámina de asbesto. Estas casas no sufrieron nada, o muy poco. *Pero las técnicas de construcción fueron adecuadas*: hay dadas, cimientos, castillos y amarres; el mortero es adecuado y, en fin, el sistema de construcción, sin ser absolutamente a prueba de temblores, permite resistir aquellos que, como el que nos ocupa, no producen aceleraciones mayores de unos 55 cm/seg^2 .

Es cosa bien sabida que los temblores de intensidad VIII o menor, de la Escala de Mercalli Modificada, *no producen daños serios en los edificios bien contruidos*. Esta afirmación, válida en 1902 cuando Mercalli hizo su primitiva escala, sigue siéndolo hoy con más razón.

Precisamente la intensidad VIII de la Escala de Mercalli Modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Newman, se caracteriza por "daños ligeros en estructuras especialmente diseñadas; considerable en edificios substanciales ordinarios. con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas"!... Esta es la intensidad que podemos asignarle al terremoto de Jáltipan en los lugares más afectados.

Las casas y habitaciones rurales, típicamente campesinas de la región, no sufrieron absolutamente nada. Estas construcciones son de los siguientes tipos, que indican al mismo tiempo su evolución cronológica:

- 1.- Sobre cuatro o seis horcones o estacas gruesas se monta un armadura de palos redondos amarrados o clavados, que soporta un techo pajizo de una o de dos aguas.
- 2.- Para resguardarse del viento, se hacen paredes rudimentarias con hojas de palmeras. Con unos cuantos palos clavados en el suelo se hacen puertas y aún ventanas. Sabiendo utilizar las hojas de los cocoteros, quedan las paredes hechas como de persianas. La casa, si tal puede llamarse, queda muy ventilada y es fresca. Si la armazón del techo está bien amarrada, los habitantes no tienen nada que temer de los temblores violentos, pero sí de los incendios provocados por chispas de los hogares de leña. Tal vez por esta razón las mujeres acostumbran cocinar al aire libre cuando hay buen tiempo.
- 3.- Un paso adelante lo constituyen las casas de "embarrado" o "embarre". El techo sigue siendo pajizo y de gran inclinación, aunque a veces se observan techumbres de cartón asfaltado y aún de lámina metálica acanalada, pero las paredes están formadas con un emparrillado de cañas o de la parte central de las hojas de cocoteros u otras palmeras, que se tapa o rellena con el barro hecho con la arcilla de la región.

Estas construcciones rurales son prácticamente indestructibles en casos de terremotos, ya que las paredes son muy ligeras y están bien ligadas unas a otras. Los pedazos de barro que pudieran desprenderse, poco peligro ofrecen a los moradores.

Las casas de este tipo son oscuras, porque las ventanas son siempre muy pequeñas y las puertas, angostas por lo general, pero una campaña oficial bien dirigida para educar al pueblo, sería útil para enseñar a mejorar las condiciones higiénicas de un sistema de construcción que es muy barato para los campesinos y que es absolutamente a prueba de temblores.

Un sistema de construcción parecido se usa mucho en América Central con el nombre de "bahareque" o "bajareque" en algunos países, o de "taquezal" o

“tarquezal” en Nicaragua. El autor vió casas de este sistema, de dos pisos, que resistieron sin averías los terremotos de Managua en 1931 (intensidad X de la Escala de Mercalli Modificada) de San José, Costa Rica, en 1924 (intensidad IX) o de Bagaces, Costa Rica, en 1941 (intensidad IX de la citada escala). El bahareque es algo más pesado que el embarrado usual en Veracruz, una de cuyas contrucciones típicas se ilustra en la Fig. 4, construcción que estaba en Jáltipan al lado de una casa de ladrillos totalmente destruída. Es verdad que la casa que ilustramos tiene un planta de sólo 4.5×3.5 m, lo que no es mucho, pero las hay bastante mayores, que tampoco sufrieron daños.

En resumen, el “embarrado” se presta muy bien para el diseño y construcción de viviendas rurales muy baratas y seguras. Sólo falta que lo tomen los arquitectos y lo modifiquen en beneficio del pueblo: en lugar de barro puede usarse una revoltura o aún mortero de cal y arena, con lo que se gana en apariencia, aumentando ligeramente el costo. Es tanto más de desear que esto se haga, cuanto que las viviendas rurales enteramente de madera (hasta los techos) que se ven en muchos lugares de Veracruz, resultan a la larga antieconómicos para la región, por el agotamiento de los bosques.

EFFECTOS PRODUCIDOS EN LOS EDIFICIOS:

- B 1.- Daños por asentamiento de los cimientos o del terreno mismo: Como hemos visto ya, no hubo verdaderos asentamientos del terreno propiamente dicho, pero en cambio sí los hubo en algunos lugares donde éste carecía de la necesaria resistencia y estaba sometido a grandes cargas, como fue el caso descrito del deslizamiento de taludes y asentamiento de rellenos en diversos puntos de la carretera. En Coatzacoalcos se observaron varios casos en los cuales algunos edificios de construcción moderna sufrieron daños que variaron desde ligeras cuateaduras, hasta desperfecto graves, debidos a una única causa: el suelo falló antes que los edificios. En todos los casos las contrucciones estaban sobre terreno completamente anelástico y carente de la necesaria resistencia a la compresión, como lo determinaron los investigadores e ingenieros del Instituto de Ingeniería. Nosotros no anali-

zaremos estos daños, pues sería duplicar un excelente trabajo: nos limitaremos a describir algunos de los daños más notables, ocurridos todos en Coatzacoalcos.

Un edificio enteramente moderno y de construcción reciente, se hundió en *bloque* un metro. La construcción, como tal, demostró ser capaz de resistir los sismos; no así el sistema de cimentación, que era a todas luces insuficiente para soportar la carga (al menos durante un terremoto) porque el suelo es tan anelástico y compresible que falló por compresión, probablemente en las primeras oscilaciones de la fase principal del terremoto.

Un tanque elevado, bastante pesado por lo demás, se volteó y vino a tierra. Las columnas de acero que lo soportaban tenían cimentaciones independientes. Probablemente dos de ellas se hundieron simultáneamente (o con muy poca diferencia de tiempo) lo suficiente para hacer salir de la base de sustentación a la proyección sobre ésta del centro de gravedad.

Ya se sabe que los daños causados en los tanques elevados se agravan a menudo cuando éstos están medio llenos, precisamente por efecto de ariete del líquido que contienen. Este efecto, que los cimientos han de absorber en última instancia, puede a veces por sí solo voltear o destruir un tanque, como hemos observado en otros terremotos de México y América Central.

Un tanque similar al descrito, pero erigido sobre una losa de cimentación, sufrió solamente algunos daños en la estructura de soporte y continúa prestando sus servicios hasta hoy.

Es evidente que los edificios descritos estaban bien proyectados y calculados, al menos para carga estática, pero no podemos decir lo mismo de los trabajos de cimentación.

La falta de resistencia a la compresión del suelo de Coatzacoalcos, al menos en la parte de la ciudad donde ocurrieron los daños descritos, queda demostrada con esa descripción y en el futuro han de tomarse allí medidas similares a las que rigen hoy (después de los desastres de 1957) en el Distrito Federal.

B 2.- Daños ocasionados por desplazamientos del terreno que no recobró su posi-

ción original. Este tipo de daños es típico de terrenos anelásticos, sean estos naturales o de relleno y fue observado esta vez, principalmente en Coatzacoalcos. Las destrucciones ocasionadas por desplazamientos horizontales de los terrenos carentes de elasticidad pueden llegar a ser muy grandes, pero son fácilmente evitables, si se piensa en la causa que las produce, causa siempre perfectamente conocida y cuantitativamente determinable si se hacen los estudios adecuados de la resistencia del suelo antes de iniciar la construcción de un edificio o de un grupo de éstos.

Una pared del edificio de la Planta Termoeléctrica de Coatzacoalcos no cayó, pero quedó formando varias ondulaciones, como S S mayúsculas largas. El terreno se movió y no recobró su posición original. En varios impulsos sucesivos adquirió el desplazamiento total observado. Las ondulaciones de la pared se debieron a diferencias en las propiedades horizontales del suelo -que se movía como un todo a impulsos de las ondas sísmicas- debidas probablemente a los cimientos del edificio y que ocasionaron diferentes desplazamientos totales. No es posible suponer que a distancias de 3 ó 4 metros unas porciones del suelo se movieran en un sentido, mientras que otras lo hicieron en sentido opuesto, pues los efectos de cizallamiento hubieran despedazado la pared.

Un tanque de combustible, de forma cilíndrica y varias toneladas de peso, estaba montado sobre varios pequeños muros de carga. Se desplazó varios centímetros sobre dichos muros.

Hay que tener cuidado al analizar efectos como los descritos, para no incurrir en el error de suponer que los movimientos horizontales debidos a un terremoto tienen la misma magnitud (o el mismo orden de ella) que los desplazamientos observados en las construcciones después del sismo: impulsos sucesivos en un terreno anelástico pueden ocasionar desplazamientos finales permanentes muy grandes, sobre todo cuando el suelo es altamente compresible. Si tomamos en cuenta esto, nos explicaremos con facilidad el mecanismo que ocasionó la rotura de los pisos de losas de cemento en las bodegas de la Secretaría de Marina y de Puertos Libres en Coatzacoalcos. Este mismo mecanismo ya descrito, produjo levantamientos de losas del pavi-

mento en algunos lugares de Coatzacoalcos. Las uniones entre dos losas quedaron en el aire, a varios centímetros de altura, pero esto no indica que las aceleraciones horizontales o verticales fueran excesivas: lo único que indica es que el suelo era altamente compresible en sentido horizontal, cosa de esperarse, pues ya se sabe que era también altamente compresible en sentido vertical.

Las ondulaciones que quedaron en algunos pavimentos no indican en lo absoluto las características o dimensiones de las ondas sísmicas, como algunos afirmaron: se deben simplemente a diferencias en las propiedades del suelo, como es fácil de demostrar con un modelo matemático o mecánico. Varios otros fenómenos debidos a desplazamientos del suelo que no recobró su posición original fueron observados, tales como la rotura de una unión entre dos rieles y el desplazamiento de ellos de unos 30 cm del uno con respecto al otro: dramáticos como eran, no indicaban enormes aceleraciones horizontales, sino propiedades del terreno enteramente desfavorables para la edificación. Son un aviso que da un suelo anelástico, poco resistente y muy compresible, a los ingenieros y arquitectos, urgiéndolos a utilizar nuevas y más severas normas, especialmente en cuanto a cimentaciones y coeficiente sísmico.

- B 3.- Prácticamente todos los daños observados se debieron a oscilaciones forzadas en edificios que no estaban contruídos para resistir terremotos. El examen de unos cuantos ejemplos nos puede dar útiles enseñanzas. El autor tomó personalmente unas 300 fotografías, de las cuales se sacaron las que se publican aquí y que son sólo unas pocas. Las demás, con sus explicaciones respectivas, pueden consultarse en la Biblioteca del Instituto de Geofísica.

La Fig. 5 ilustra el destino que tuvieron casi todas las casas de ladrillos contruídas en Jáltipan según las viejas normas. No había castillos, ni amarres en las esquinas y el mortero, de cal y arena, era de pobre calidad. Detrás de los escombros puede verse una casita de "embarrado" con techo de lámina acanalada. A pesar de que los maderos usados en su contrucción son simples palos redondos, los des-

perfectos fueron mínimos.

En la Fig. 6 aparecen los escombros de otra casa de ladrillo contruida según metodos antiguas. Las aceleraciones y los desalojamientos no fueron tan severos como pudiera suponerse, ya que los viejos postes de madera del alumbrado eléctrico aún están en pie, con sus alambres intactos. Esta casa también estaba en Jáltipan.

La Fig. 7 muestra una casa, también en Jáltipan, contruida según normas un poco menos malas; se observa la presencia de algunos castillos y trabazón de los muros en las esquinas. Las casas que existían a ambos lados de ésta, fueron demolidas totalmente por el sismo y estaban contruidas con el mismo tipo de material, pero con métodos anticuados.

En la Fig. 8 se observa una casa de Acayucan, en la cual fallaron los maderos de la techumbre. Estos maderos no tenían el grosor requerido; eran simples palos redondos que soportaban un techo pesado de tejas de barro. Al lado pueden verse los restos de una casa que fue necesario demoler después del temblor.

Las Figs. 9 y 10 ni siquiera necesitan comentarios. Se trata de dos casas de un tipo moderno, adecuadas para las necesidades de la región. Contruidas hace poco, con los mismos tipos de ladrillos y bloques que las casas derribadas, no sufrieron más que insignificantes cuarteaduras en el repello. Pero están contruidas según normas modernas. Ambas están en Jáltipan, a pocos metros de las casas derribadas que ilustran las figuras anteriores.

La Fig. 11 también da una enseñanza a los constructores y sismólogos. Se trata del Palacio Municipal de Soconusco, pueblo que sufrió igualmente serios daños en las construcciones mal hechas. Este Palacio Municipal no fue construido, ni siquiera proyectado, por ingeniero alguno, sino por un albañil consciente que "había visto a los ingenieros construir en Minatitlán". Hecho de bloques de material de la región, está aún sin acabar. Pero tiene buenos cimientos, dadas para reparación de las cargas, etc. No presenta la más ligera cuarteadura. A menos de 50 m de él, la iglesia del pueblo sufrió tales averías, que hubo de ser derribada.

En la Fig. 12 observamos la torre de la iglesia de Soconusco, construcción cuadrada y chaparra, de ladrillos, con techo de teja. Uno de los arcos, el de la esquina izquierda, falló probablemente por las oscilaciones debidas a las campanas.

Daños de este tipo se observaron en varias iglesias. En este caso, la torre estaba separada de la iglesia y era de construcción más reciente.

La iglesia salió tan averiada, que hubo que demolerla.

Los daños en las torres de las iglesias son frecuentes. El autor los ha observado en varios países y en distintas épocas. Las iglesias son edificios casi siempre muy viejos, de construcción en apariencia sólida, pero por lo común fueron proyectados y su construcción fue dirigida por uno o más sacerdotes de buena voluntad, pero con escasos conocimientos ingenieriles casi siempre.

En las torres se colocaban grandes vigas de acero o de madera, para soportar las campanas. Sobre las vigas se continuaba construyendo la torre, generalmente de ladrillos o de "cal y canto", utilizando como mortero los materiales de la región. No es de extrañar que quedaran puntos débiles en los lugares de empotramiento de las vigas, lugares donde se inician casi siempre las fracturas, provocadas por las oscilaciones de las campanas, masas de varios centenares de kilogramos, que constituyen verdaderos péndulos que registran el sismograma en las paredes de la torre. Las Figs. 13 y 14 muestran la iglesia de Minatitlán, construida sobre terreno de relleno soportado por un gran muro de retención que da a la calle principal, a la izquierda de la fotografía (Fig. 13). El cuerpo mismo de la iglesia sufrió poco, pero la torre de la derecha, la que tiene las campanas, se fracturó en varios puntos, como puede apreciarse en la Fig. 14 en la cual se aprecian muy bien las dos vigas de acero diagonales que soportan las campanas. Esta torre tendrá que ser demolida.

Varios efectos se observaron dentro de esta iglesia: una imagen de mármol, que representa a San Pedro, colocada sobre el altar mayor, giró 32 grados sobre su base. Esto no quiere decir, sin embargo, que se hayan presentado verdaderas rotaciones del suelo, punto este que aún discuten los sismólogos, ya que es poco probable que una masa tan grande como un altar de mármol se haya puesto a girar.

Un arco de mármol del mismo altar, se fracturó en la clave y varias imágenes de santos se voltearon y cayeron. Gracias a la amabilidad del cura párroco, fue posible pesar y medir estas estatuas y calcular así las mínimas aceleraciones capaces de derribarlas.

En la iglesia de Acayucan (Fig. 15) observamos la misma cosa: la torre que alojaba las campanas perdió su remate y sufrió múltiples fracturas, como pue-

de verse en la Fig. 16. Los arcos fallados en la clave y las líneas de fractura, que se prolongan hasta la base misma de la torre, están indicando que las esquinas de ésta no estaban en realidad ligadas y trabadas por los arcos y se comportaron independientemente durante el sismo. La iglesia, de más de un siglo de existencia, sufrió serias averías en el techo de tejas y en la fachada. La torre de la izquierda, además de no tener campanas, tenía un cincho de concreto como refuerzo, de construcción reciente.

En las casas de construcción antigua de toda la región es notable la falta de castillos y refuerzos en las paredes, así como de verdaderas uniones entre las paredes que forman esquina. La Fig. 17 ilustra un caso de falla por separación de dos paredes que formaban esquina en una casa de Acayucan. En realidad ambas paredes nunca estuvieron verdaderamente unidas. Este es un tipo de daño muy fácil de evitar. Algo parecido ocurrió en la esquina SW de la Escuela Artículo 123 de Minatitlán, que es un edificio de dos plantas, enteramente moderno, de concreto reforzado u hormigón armado. Los ladrillos de las paredes ornamentales se desprendieron en una gran extensión, precisamente en la esquina, pero como puede verse en la Fig. 18, la estructura misma del edificio sufrió poco o casi nada. En esta escuela se presentaron otros daños no graves, característicos de las construcciones de hormigón armado en las que no se toman precauciones especiales contra los temblores: aún cuando la estructura misma del edificio sufre poco o nada, las paredes de relleno colocadas entre columnas fallan por falta de amarre diagonal o se fracturan a lo largo de las líneas de menor resistencia formadas por la presencia de los tubos "conduit" de las instalaciones eléctricas (Figs. 19 y 20). Hay roturas de cristales por deformación de los marcos de hierro de las ventanas, cuando éstas son muy grandes; las paredes de tabique hueco, aún cuando son livianas, pueden oscilar y separarse de travesaños y columnas; los ladrillos ornamentales, fachaleta y similares, se desprenden principalmente en las esquinas, cuando no están bien pegados a la pared y se presentan fenómenos de martilleo entre dos cuerpos de edificio ligeramente separados, con rotura de paredes y cristales, pero sin fallas aparentes en la estructura propiamente dicha.

Las estructuras de hormigón armado construídas según las técnicas modernas, resisten sin averías los terremotos de intensidad VIII de la Escala de Mercalli

Modificada, como lo prueba el edificio en construcción que ilustra la Fig. 21 que estaba en la calle principal de Minatitlán, a 200 metros de la iglesia. A pesar de no estar terminado no se le apreciaron daños. Otro edificio, de construcción similar, frente al de la figura, tampoco sufrió averías de importancia. En cambio, los edificios construidos sin precauciones, aún cuando soporten bien las cargas estáticas, sufren averías de consideración por las oscilaciones forzadas producidas por un terremoto. Tal fue el caso de la Escuela Rebeca Arias de López, en Jáltipan, cuya fachada se observa en la Fig. 22. El edificio sufrió daños que pueden calificarse de graves, como puede verse: hundimiento del techo en la fachada; rotura por esfuerzo cortante de la columna derecha de la puerta de entrada y de la que forma la parte izquierda de la ventana, con rotura diagonal de las paredes de relleno; derrumbe de un lienzo de pared aislado que unía simplemente dos alas de la construcción, por efecto de martilleo, como se ve en el extremo derecho de la fotografía y rotura de cristales por deformación de los marcos de las ventanas.

La Fig. 23 muestra los efectos del terremoto sobre una de las columnas que soportaban una losa de homigón, de un "auditorium" o salón de actos en la misma escuela. Está rota en la base y en la parte superior, como casi todas las columnas de esa parte de la escuela. Al lado puede verse una de las vigas de madera que se usaron para reforzar la construcción e impedir que se viniera abajo. Esta parte del edificio se movió bastante y martilleó contra las paredes de los lados, derribando una.

En este edificio se observaron algunos otros daños graves en la estructura misma: fallas en columnas de sección circular y de sección cuadrangular; cuarteaduras en vigas y traveses por esfuerzos cortantes y roturas en diagonal en paredes de relleno.

Las roturas en diagonal de las paredes son un daño bastante frecuente producido por los temblores. Sin embargo, no siempre es grave, aún cuando el aspecto es desolador, porque en general la estructura de hormigón reforzado o de acero, según el caso, soporta bien el choque cuando está diseñada de acuerdo con las técnicas modernas, como ilustra la Fig. 24 que corresponde a un edificio de Minatitlán.

Ciertos tipos de estructura de hormigón armado pueden fallar -y fallan- debido a diseño defectuoso o a mano de obra pobre o inadecuada. Las Figs 25 y 26

ilustran dos casos de estos, correspondientes a una escuela de Coatzacoalcos. Cualquier ingeniero se da cuenta inmediatamente de qué fue lo que ocurrió.

Las paredes de las pequeñas casas de campo también pueden romperse en diagonal, aún cuando estén hechas con buen ladrillo o con tabique hueco. Las ventanas son puntos débiles por los que casi siempre comienzan las fracturas de este tipo, las cuales se dirigen por lo común hacia las esauinas del edificio, como se observa en la Fig. 27.

Los techos pesados de tejas colocadas sobre un enrejado de madera, no dejan de ser un peligro para los moradores de las casas de construcción de tipo antiguo. En efecto, si no ocurren hundimientos por rotura de los maderos podridos, las tejas resbalan y caen al interior de la vivienda, como se observa en la Fig. 28. Esto se puede evitar colocando las reglas más juntas y más bien hacia abajo que en sentido transversal: las tejas, soportadas en toda su longitud entre dos reglas, experimentan una resistencia mayor al resbalamiento y, caso de caer, lo hacen para afuera. En la Fig. 28 se observa que, además de hundimiento de las tejas, la casa presenta rotura de las cuatro columnas de ladrillo cerca de la base. Este tipo de roturas en columnas de construcción tan sencilla (dos ladrillos, con una sección cuadrada de unos 30×30 cm) permite calcular fácilmente las probables aceleraciones del temblor.

Aún construyendo con los materiales de la región (que son en general buenos) y en la forma antigua, es posible evitar daños serios si se toma un mínimo de precauciones: una viga de hormigón que una las columnas; algo menos de altura de éstas; castillos y verdaderas uniones en las esquinas de las paredes y menor inclinación del tejado colocado sobre un enrejado de maderos más juntos, hicieron que la escuela Margarita Ledesma de Valdés, construída en 1951, no tuviera más daños que unas pocas tejas caídas. Cerca de esta escuela, en Soconusco, hubo daños serios y derrumbes en las casas construídas con menos cuidado. (Fig. 29)

En todos los lugares de América Latina en donde se utilizan los adobes y los ladrillos para construir totalmente las casas, las puertas y las ventanas se hacen levantando dos porciones de pared, separadas por lo que será más tarde el ancho de aquéllas. A la altura conveniente se coloca sobre los ladrillos o adobes, un simple palo redondo o, en el mejor de los casos, de sección rectangular y sobre

él se continúa levantando la pared. Este madero no siempre es de las dimensiones adecuadas para resistir el peso de los ladrillos o adobes y con el tiempo, la humedad y los insectos, se destruye poco a poco. No es de extrañar que falle durante un temblor. Por otra parte, las paredes divisorias se hacen por lo general de un solo ladrillo y las dos secciones separadas por una puerta o una ventana pueden oscilar de modo independiente, partiéndose la pared por el centro. Este tipo de daño fue frecuente y se ilustra en la Fig. 30, correspondiente a una puerta de una pared divisoria de un hotel en Acayucan.

En el pasado era frecuente construir "portales" en los edificios destinados a comercios, según puede verse en la mayoría de nuestras ciudades y pueblos. Estos "portales" están formados por columnas de ladrillo de 30 x 30 cm de sección y unos 3 metros de altura, que soportan arcos del mismo material, según se ha dicho ya. Pero están en realidad independientes del edificio, por lo que, durante el temblor, oscilan separadamente, partiendo el falso arco, en general, los une en apariencia al resto de la construcción, tal como lo muestra la Fig. 31 que corresponde a un viejo edificio de la calle de Iturbide, en Minatitlán. El edificio sufrió, además, otros desperfectos. Aún cuando la segunda planta sea liviana -y más bien por esa causa- los arcos de los portales fallan en la clave. Son de ladrillos, carecen propiamente de dovelas, el mortero que los une no es por lo general muy bueno y las columnas, carentes en realidad de amarres que las unan unas a otras, pueden oscilar abriéndose, con lo cual el arco falla, como lo muestra la Fig. 32 correspondiente a otro edificio viejo, de más de 50 años, en la calle de Iturbide de Minatitlán.

La construcción de los portales y las fallas que pueden presentarse en ellos por causa de un terremoto, se ilustran claramente en las figuras 33 y 34 correspondientes al Hotel Hidalgo, de Acayucan. Todas las columnas están partidas cerca de la base y en su parte superior; los arcos están fracturados en el centro; como el sistema osciló de modo independiente, las pseudo-uniones con el cuerpo del edificio sufrieron desperfectos graves: una se cayó (Fig. 33) junto con la columna de la esquina y la otra (Fig. 34) se separó totalmente. Además hubo hundimiento de tejas, pero no tanto por falla de la armadura de madera, como por deslizamiento entre los hoyos que quedan entre una regla y otra. Con un poco de cuidado, las tejas no habrían caído al interior del hotel.

Como ejemplo de destrucción de un edificio construido según las normas empíricas de la región (o mejor dicho según la falta de ellas) tomaremos el de un cobertizo que se utilizaba como mercado en uno de los pueblos, cuyo nombre omitiremos por razones obvias. Se trataba de una edificación consistente en 20 pilares o columnas de ladrillos de 30×30 cm aproximadamente, que cubrían una superficie de unos 35×10 m. Por las dimensiones y peso de las tejas usuales en la región y midiendo las vigas de madera que estaban en el suelo, se calculó que la techumbre tenía un peso de unos 26 000 kg. aproximadamente,

Dado el considerable peso de la techumbre, el centro de gravedad del cobertizo se hallaba a unos 2.2 m de altura. La de las columnas era de 2.7 m aproximadamente y el peso de las mismas debió ser unos 600 kg más o menos, a juzgar por el número de ladrillos que las componían.

Si cada columna soportaba $1/20$ de la carga total de la techumbre, la presión que ejercía cada una sobre el suelo era de

$$\frac{26\ 000}{20} + 600 = 1900 \text{ kg.}$$

Como la sección de la base era de $30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$,
la presión unitaria era de $1900 : 900 = 2.1 \text{ kg/cm}^2$

La fuerza aglomerante del mortero usado, o fuerza de cohesión, pudo determinarse de un modo muy poco científico, cargando con sacos de arena hasta fracturarlo, un pedazo de columna que quedó intacto y se puede estimar en unos 1.3 kg/cm^2 , lo que da una resistencia total a la fractura de unos 3.4 kg/cm^2 ; lo que no es mucho.

El terremoto fracturó todas las columnas por su base y, además, arriba, cerca de donde se encontraban las gruesas vigas que soportaban la armadura de madera del techo. Las tejas resbalaron y se cayeron y toda la construcción quedó tan dañada, que fue necesario tirarla.

Sin pretender hacer un análisis exacto, cosa imposible por lo demás, debido a las mediciones tan imprecisas que se hicieron, podemos intentar calcular la mínima aceleración capaz de partir las columnas y destruir el edificio. Los resultados no serán exactos, pues es sabido que el problema de que tratamos es uno de los más

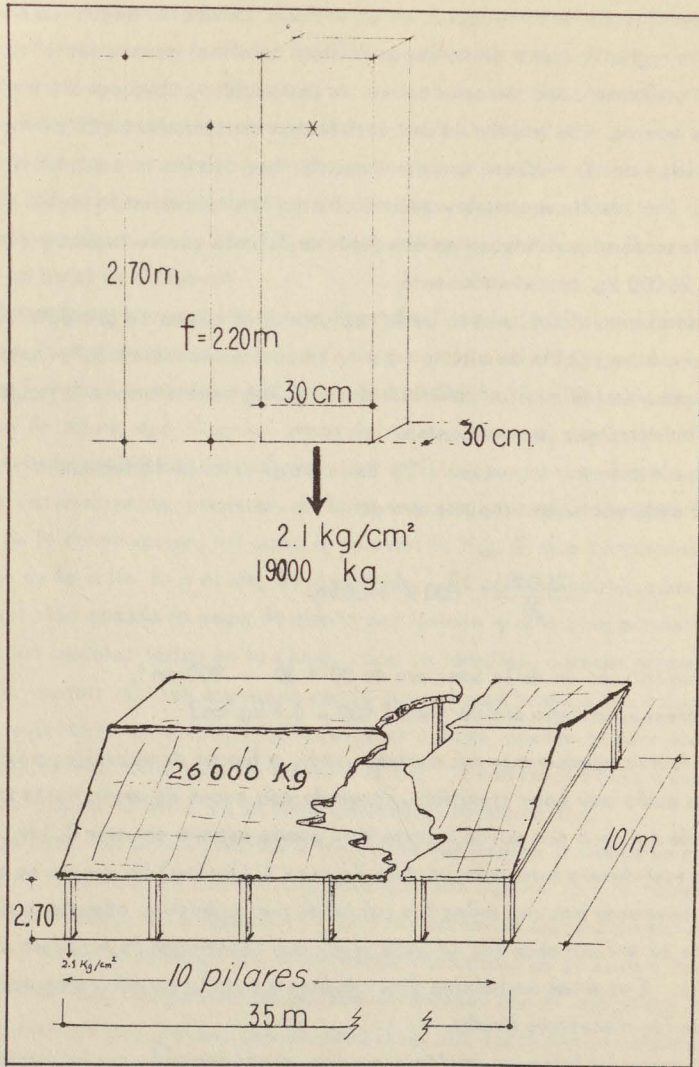


Fig. 35 Un cobertizo destruido y las cargas que soportaba.

complejos de la ingeniería sísmica, pero nuestras consideraciones de mecánica elemental pueden ser útiles a los ingenieros en el campo, cuando no se disponga de mejores medios y, en todo caso, ayudarán al sismólogo a trazar sus curvas de isoaceleraciones, en los lugares donde no se disponga de una red de acelerógrafos, que es el caso de la República Mexicana.

La fig. 35 ilustra la construcción del cobertizo. Si llamamos

F = a la fuerza de cohesión total que impide la fractura, de 3.4 kg/cm^2 , en este caso;

W = al peso total soportado por cada columna, 1900 kg ;

f = a la altura del centro de gravedad, 2.2 m o 220 cm .

x = a la mitad de la sección (en caso de ser cuadrada), igual a 15 cm en nuestro caso y

g = a la aceleración de la gravedad 981 cm/seg^2 ,

podemos demostrar fácilmente que la mínima aceleración horizontal capaz de romper las columnas es

$$a = \frac{4g x^3 F}{3 f W}$$

y substituyendo los datos, encontramos

$$\frac{3924 \times 3375 \times 3.4}{3 \times 220 \times 1900} = 35.9 \text{ gal}$$

o sea que la intensidad del terremoto estaba dentro del grado VIII de la Escala de Mercalli Modificada (aceleraciones entre 25 y 50 gal).

Algunas enseñanzas deja la destrucción de este cobertizo:

- 1.- De haber sido las columnas de una construcción mejor, no se habrían fracturado. Desgraciadamente estaban hechas como todas las de la región, con ladrillos más o menos buenos, pero unidos con un mortero de cal y arena cuya cohesión dejaba mucho que desear.
- 2.- La intensidad del terremoto fue VIII de la Escala de Mercalli Modificada y es

poco probable que las aceleraciones máximas hayan pasado de unos 40 gal o poco más. Con estas aceleraciones, los daños habrían sido ligeros si los edificios destruídos hubieran sido construídos con un poco más de cuidado.

- 3.- Hay que construir las techumbres lo más ligeras que se pueda. Esta conclusión, algo olvidada de puro sabida, es muy importante. El enrejado transversal de madera sobre el que descansan las tejas, no es lo más conveniente. Haciéndolo *longitudinal*, con las reglas de madera colocadas de arriba hacia abajo, las tejas pueden resbalar -con un poco más de dificultad que en el caso anterior- pero no pueden hundirse y caer hacia el interior de los edificios.

La fórmula dada para la mínima aceleración horizontal capaz de fracturar una columna de ladrillos o de otro material cualquiera, *siempre que no esté reforzada* con acero u otro material análogo, es muy fácil de deducir a partir de consideraciones elementales conocidas por todos los estudiantes de ingeniería.

Supongamos que ABCD es una columna de ladrillos fija al suelo y que éste se mueve a partir del reposo, hacia la derecha, para volver luego al punto de reposo en O y moverse hacia la izquierda. Las aceleraciones $+a$ y $-a$ actuarán sobre la columna con una fuerza igual a ma (Fig. 36).

Tomemos la sección EF y veamos las condiciones necesarias para su fractura.

La porción de columna EFCD, con peso W y cuyo centro de gravedad está a la altura f , estará sometida a una fuerza horizontal $\frac{a}{g}W$ aplicada en el punto G.

Si introducimos dos fuerzas iguales pero de signo contrario, $+\frac{a}{g}W$ y $-\frac{a}{g}W$ a lo largo de la línea de intersección del plano EF con el plano principal que pasa por G, tendremos que el momento del par de fuerzas que tiende a flexionar la columna es

$$M = \frac{f a W}{g} \quad (1)$$

Si la altura de la columna es grande en relación con su espesor (como es el caso ordinario) podemos despreciar el "cizallamiento" que tiende a cortar el pilar, por ser muy inferior al efecto que tiende a "cimbrarlo" y por lo tanto a fracturar la columna.

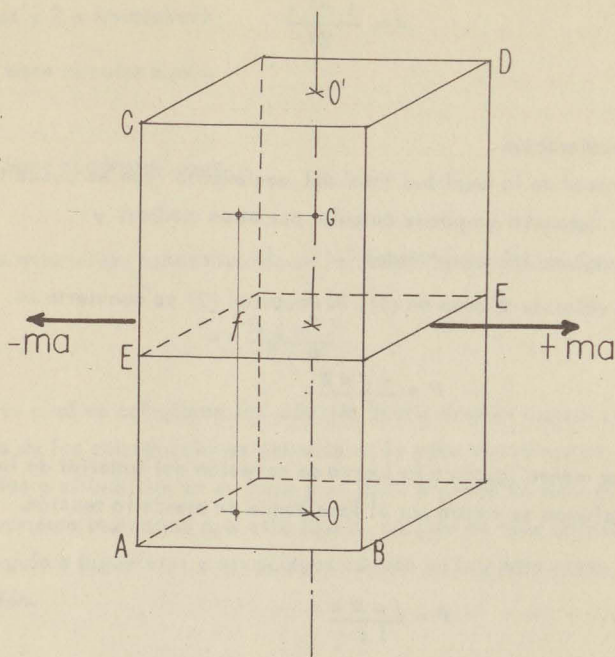


Fig. 36 Condiciones para fracturar una columna.

Si ésta se dobla ligeramente habrá compresión por delante y estiramiento por detrás de la "fibra neutra" y las presiones y tensiones sufridas se pueden expresar por

$$P = \frac{M}{I} x \quad (2)$$

donde x será la distancia del centro de la columna en O hasta el borde de la misma; I es el momento de inercia del plano EF en relación al eje $O O'$ y M es el momento de flexión, según se ha dicho ya. Si suponemos que un terremoto sigue las leyes del movimiento armónico simple (lo cual está lejos de la realidad, pero puede hacerse como primera aproximación) entonces

$$a = \frac{4 \pi^2 A}{T^2} \quad (3)$$

en donde

a es la aceleración

A es la mitad de la amplitud total del movimiento (que se puede tomar de un sismograma o se puede calcular por otros medios) y

T es el período del movimiento.

Substituyendo el valor de M dado en (1), la ecuación (2) se convierte en

$$P = \frac{x f a W}{I g} \quad (4)$$

Si P excede o por menos iguala a la fuerza de cohesión del material de la columna, sea ésta F , la columna se rajará por el lado donde se ejerce la tensión. Tendremos que

$$F = \frac{f a W x}{I g} \quad (5)$$

en la que a es la mínima aceleración capaz de fracturar una columna, f la altura del centro de gravedad, W su peso e I y g son el momento de inercia y la aceleración de la gravedad, como se ha explicado ya.

Conociendo la fuerza de cohesión de una columna F , la mínima aceleración capaz de fracturarla será

$$a = \frac{I g F}{x f W} \quad (6)$$

Algunos de los momentos de inercia en relación con el eje $O O'$ más usuales son:

Columna de sección circular y $r = x$

$$I = \frac{\pi x^4}{4}$$

Columna de base cuadrada

$$I = 4/3 x^4$$

Columna de base rectangular, lados
2 b (grandes) y 2 x (pequeños)

$$I = \frac{4 b x^3}{3}$$

Columna de base circular hueca
(2 x - 2 x₁)

$$I = \frac{\pi(x^4 - x_1^4)}{4}$$

Columna de base cuadrada hueca
(2 x - 2 x₁)

$$I = \frac{4}{3}(x^4 - x_1^4)$$

De los datos anteriores, substituyendo en la fórmula general, se obtiene

$$a = \frac{4 g x^3 F}{3 f W}$$

fórmula con la cual se calcularon las mínimas aceleraciones capaces de fracturar las columnas de las construcciones dañadas en la zona mezosísmica, ya que todas eran cuadradas o cilíndricas en su base y de igual espesor en toda su altura.

Nuevamente indicamos que este tipo de cálculo es sólo aproximado, pero puede servir de guía a ingenieros y sismólogos cuando no hay otra clase de datos ni mejor información.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 1.- Como es usual en todo terremoto destructor, el área de destrucción fue pequeña, comparada con el área donde se sintió el sismo.
En este caso, puede estimarse el área total donde se sintió, en unos 450 000 km². El área de destrucción posible, (estimada a partir de las curvas de iso-aceleración, determinadas por objetos volcados, columnas y bardas fracturadas, etc.) fue de unos 5 100 km², o sea 0.011 del área total. Pero se observó destrucción solamente en unos 2 200 km², debido a la poca densidad de población, lo que significa 0.005 del área total.
- 2.- De los datos anteriores y dada la frecuencia de los terremotos destructores en esa zona (Boletines del Servicio Sismológico de Tacubaya) se infiere que la

- probabilidad de destrucción por terremotos en una área unitaria de 1 km^2 , es siempre pequeña y permite operar los negocios de seguros contra terremotos.
- 3.- Tomando en cuenta los datos oficiales de población en la zona afectada y los datos también oficiales de muertos y heridos, podemos afirmar que la probabilidad de sufrir la muerte o heridas graves debido a terremotos, es también muy pequeña e inferior en todo caso a la de muerte o heridas por otros accidentes tales como accidentes automovilísticos o ferroviarios y muchos accidentes industriales o mineros.
 - 4.- No fue posible establecer de modo inequívoco si hubo ruidos subterráneos, rumbos o "brontidi" *antes* del temblor. Un buen porcentaje de testigos afirmó, sin embargo, haber escuchado ruidos sordos *durante* el movimiento.
 - 5.- No fue posible establecer con certeza si hubo iluminaciones o resplandores anormales del cielo durante o después del movimiento.

Como en todos los casos similares, los informes de los testigos varían mucho y dejan mucho que desear y las publicaciones de diversos sismólogos sobre este asunto adolecen, probablemente todas, de los mismos defectos que la presente. En nuestro caso era muy posible que los "resplandores" se debieran a reflejos, en las nubes bajas, de las llamaradas de los gases de petróleo que se queman en las vecindades de Minatitlán. Si fue verdad que cayó un bólido (al mar y al N de Coatzacoalcos) pocas personas lo vieron en realidad y el fenómeno nada tiene que ver con terremotos, por más que en varios de ellos (Cartago; Costa Rica, 1910; El Tocuyo, Venezuela, 1949; Orotina, Costa Rica, 1924 y otros más) haya sido reportado.

- 6.- Como es usual en estos casos, muchas personas reportaron "el nacimiento de un nuevo volcán" y la presencia de emanaciones sulfurosas y aún de llamas, en las partes más abruptas de la zona mezosísmica. Estas afirmaciones casi nunca merecen ningún crédito y el autor estudió personalmente al menos una docena de casos en que resultaron enteramente falsas. (México 1957 y 1959; Costa Rica 1924, 1939 y 1941; Venezuela 1949, etc.). En el caso presente, los "olores sulfurosos" reportados pueden deberse a gases del petróleo transportados por el viento y apreciados por observadores cuyos sentidos estaban exacerbados por el natural temor.

- 7.- Las determinaciones de aceleraciones debidas a un terremoto no son fáciles cuando no se cuenta con una red de acelerógrafos. Sin embargo, el autor estima, por su experiencia personal, que para fines de ingeniería y como una primera aproximación, es posible utilizar razonamientos de mecánica elemental y deducir así los elementos necesarios para trazar curvas de isoaceleración, midiendo los objetos derribados, (siempre que sus formas geométricas no sean muy complicadas) Los casos de proyección, siempre reducidos en número; las bardas caídas en un solo bloque, siempre que no haya gran disgregación de las mismas y que su longitud sea grande para poder considerarlas independientes de los amarres o anclajes a castillos o edificios, cuando sea fácil determinar aproximadamente su fuerza de cohesión.
- 8.- A falta de acelerógrafos, sería posible construir pilares de ladrillo que se fracturen con aceleraciones determinadas de antemano, o instalar series de columnas de madera, provistas de bordes de latón para facilitar el giro, de modo que sean derribadas por las aceleraciones correspondientes a terremotos de intensidades superiores a la IV de la Escala de Mercalli Modificada, por ejemplo. Dos series de columnas colocadas según las direcciones NS y EW, derribables por temblores de las intensidades IV, V, VI, etc., darían útiles indicaciones a los ingenieros y podrían colocarse en sótanos o lugares poco usados, donde estorbarían poco o nada. La idea no es nueva ni original: se debe a Galitzin y dando a las columnas la forma de paralelepípedos de 2×10 cm de base y alturas de 82.9 ; 41.3; 27.4; 20.4; 16.3; 13.5; 10.0; 8.9 y 7.9 cm, serían derribadas por aceleraciones de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, y 200 gals respectivamente. Columnas más pequeñas serían derribadas por aceleraciones mayores.
- 9.- Las líneas de isoaceleración determinadas como se ha dicho, concuerdan bastante bien con las isosistas determinadas por J. Figueroa, del Servicio Sismológico de Tacubaya, e independientemente por el autor, basándose en los efectos observados y en los cuestionarios usuales de interrogatorio a testigos presenciales. Una cosa llama la atención: la intensidad del terremoto decreció con gran rapidez hacia oriente, pues ya en Tonalá los daños fueron apenas ligeros, mientras que hacia occidente el decrecimiento de la intensidad fue

bastante más lento. Este fenómeno se explica en gran parte si se toma en cuenta la geología de la región. En otro artículo se trata el asunto con mayor amplitud. Según los geólogos del Instituto de Geología y de Petróleos Mexicanos, la región de Coatzacoalcos está cruzada por varias fallas importantes. Es posible que ciertos terrenos presenten una especie de "absorción selectiva" al espectro de las ondas, atenuándolas con rapidez cuando los períodos son cortos. El caso amerita un estudio posterior.

- 10.- En algunos lugares, como Coatzacoalcos, el suelo falló antes que los edificios. Esta enseñanza será muy útil para diseñar los cimientos de nuevos edificios.
- 11.- Es posible construir, con los materiales de la región, casas de tipo rural que resistan a los terremotos. Del mismo modo, un desarrollo por parte de los arquitectos de sistemas tales como el "embarrado" o el "bahareque", permitiría a los naturales construir casas higiénicas, agradables y resistentes a los sismos.
- 12.- Sería conveniente que, antes de que pase mucho tiempo, la Sección de Mareas del Instituto de Geofísica haga una nueva nivelación para determinar si hubo hundimientos generales de importancia en Coatzacoalcos.
Tanto Petróleos Mexicanos como el Instituto de Geofísica, han hecho trabajos de nivelación gravimétrica a lo largo de la carretera transísmica. Sería de desear que dichas nivelaciones se repitieran pronto, con el fin de determinar posibles anomalías de la gravedad debidas al temblor.

AGRADECIMIENTOS

Desea agradecer el autor la amplia cooperación prestada para llevar a cabo este trabajo por todas las autoridades de Pemex, de Minatitlán, Acayucan, Jáltipan y demás lugares afectados y de modo especial la colaboración del C. Alcalde de Soconusco, del C. Cura Párroco de Minatitlán y de la Srta. Margarita Symes, quien durante los días en que el autor trabajó en la zona afectada, no siempre en las mejores condiciones, fue su eficiente secretaria.



Fig. 2.- Edificio de la Secretaría de Marina en Alvarado, a 161 Km del epicentro. Construido sobre arena. No se notó ningún daño.

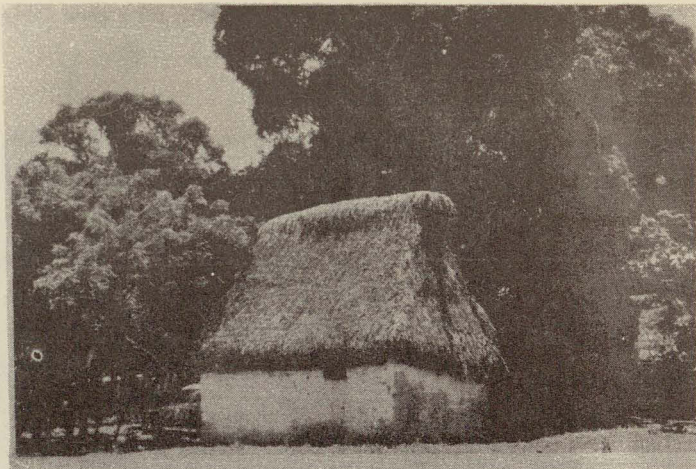


Fig. 4.- Casa de tipo rural que no sufrió daño alguno. Es de una construcción llamada "embarrado", parecida al "bahareque" y al "taquezal" de Centro y Sudamérica.

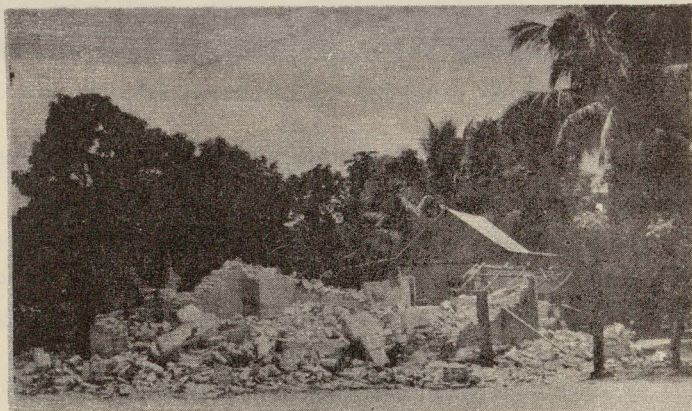


Fig. 5.- Casa de ladrillos en Jáltipan, totalmente destruida. Estaba hecha según los métodos antiguos.

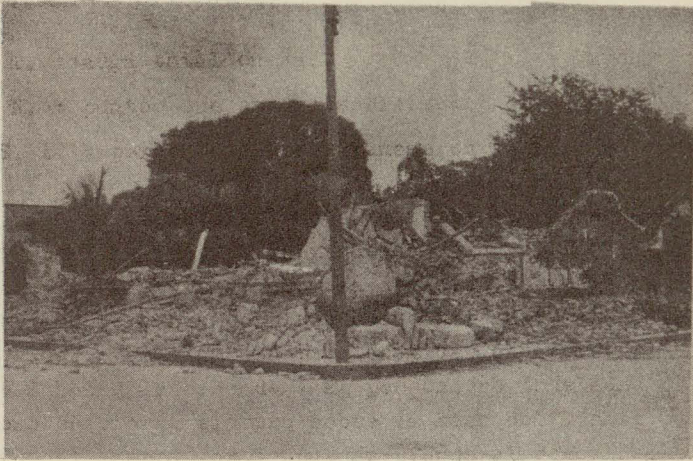


Fig. 6.- Casa de ladrillos en Jáltipan, construida según los métodos antiguos, con techo de tejas.

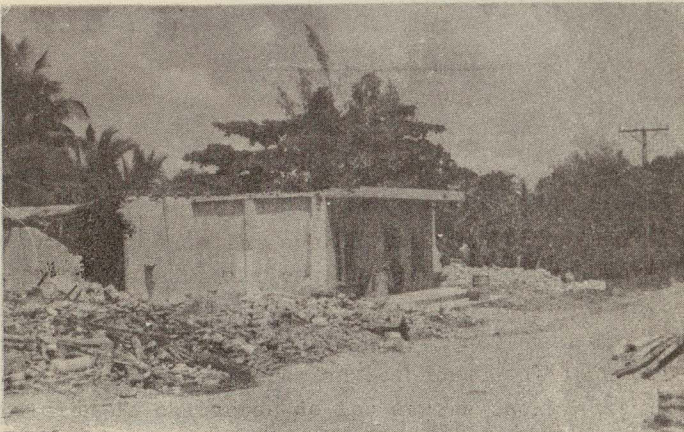


Fig. 7.- Esta casa, en Jáltipan, resistió el terremoto. Las dos casas que había a los lados fueron destruidas. Una mejor construcción y mano de obra adecuada hicieron la diferencia.



Fig. 8.- A una cuadra del zócalo de Acayucan se observó la falla del techo en esta casa. Es evidente que la armadura de madera era absolutamente inadecuada para soportar la techumbre de tejas.

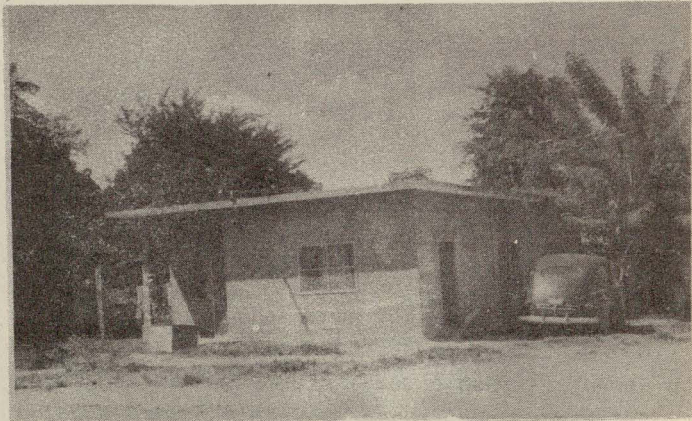


Fig. 9.- Esta casita de ladrillos, en Jáltipan, no sufrió nada. Los métodos modernos de construcción permiten hacer casas de ladrillo completamente seguras.

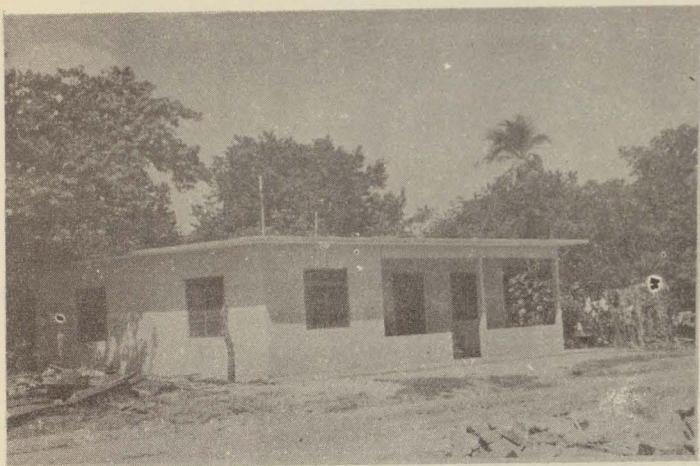


Fig. 10.- Casa de ladrillos de construcción moderna, en Jáltipan. No sufrió daños.

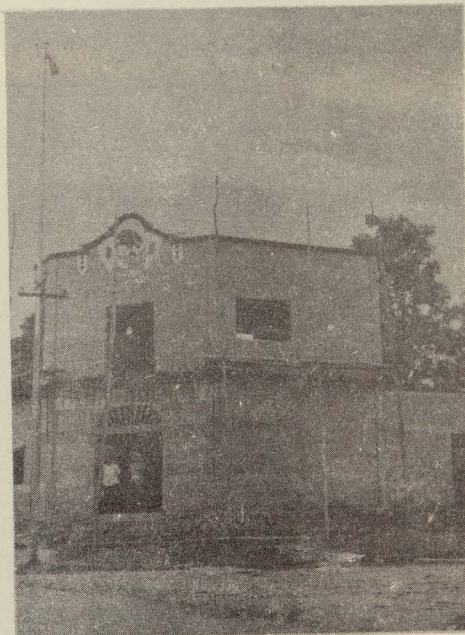


Fig. 11.- Palacio Municipal de Soconusco, aún sin terminar. Los métodos adecuados de construcción hicieron que no sufriera daño alguno.

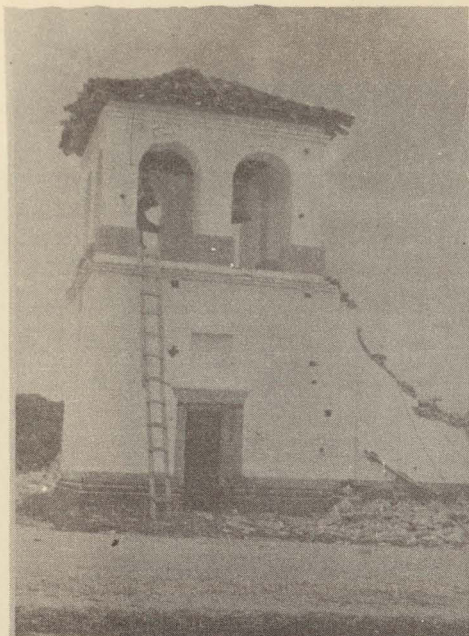


Fig.12.- Torre de la Iglesia de Soconusco. Un arco falló en su clave. El cuerpo de la iglesia tuvo que ser demolido.

Fig. 13.- Iglesia de Minatitlán construida sobre relleno. La torre izquierda no tenía campanas y nada sufrió.

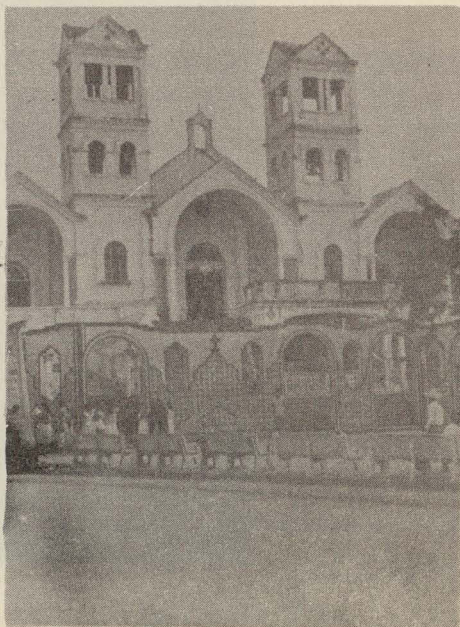




Fig. 14.- Torre derecha de la iglesia de Minatitlán, fracturada en varios puntos debido a la presencia de las campanas y sus soportes.



Fig. 15.- Iglesia de Acayucan. La torre que tenía las campanas sufrió mucho. La iglesia fue demolida posteriormente.

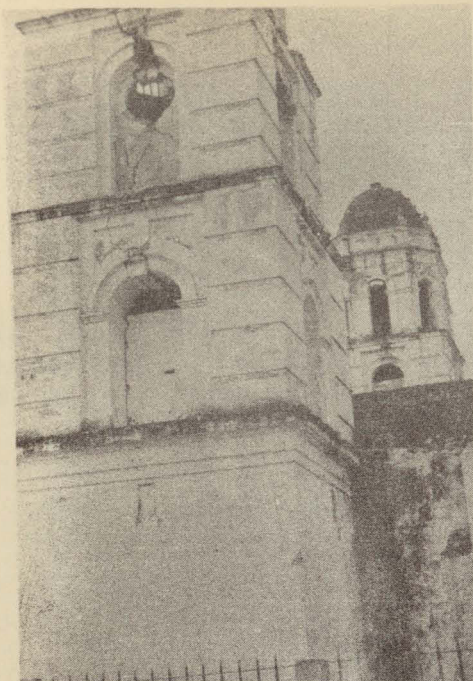
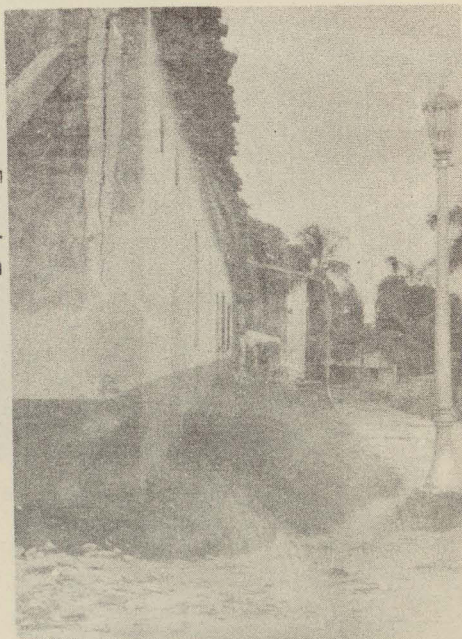


Fig. 16.- Fracturas en la torre que tenía las campanas, en la iglesia de Acayucan. Los arcos fallaron en las claves.

Fig. 17.- La falta de amarres en las esquinas fue responsable de la separación de estas dos paredes en una casa de construcción antigua en Acayucan.



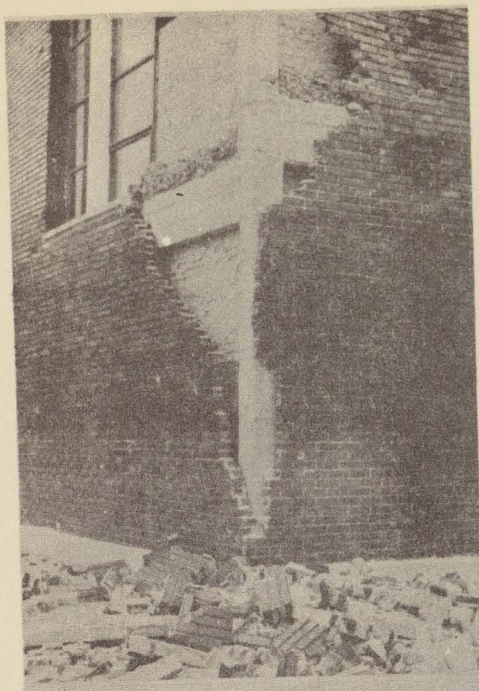


Fig. 18.- Esquina NW de la Escuela Miguel Alemán, de Minatitlán. Todos los ladrillos ornamentales se desprendieron en una gran extensión. La estructura del edificio sufrió poco.

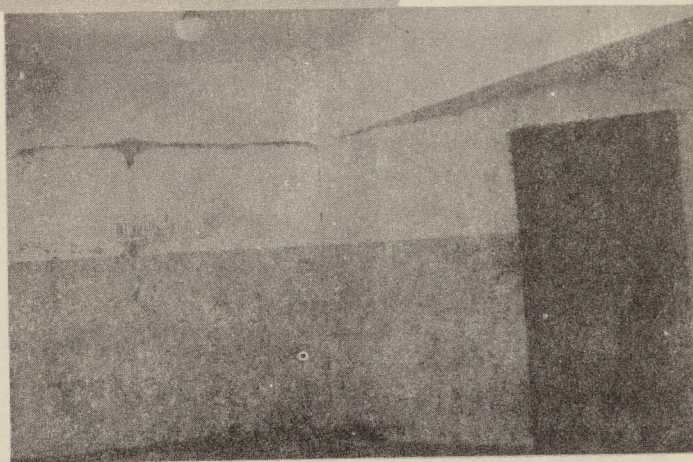


Fig. 19.- Escuela Miguel Alemán, en Minatitlán. Pared de relleno separada de la estructura y fracturada a lo largo de un "conduit" de la instalación eléctrica.

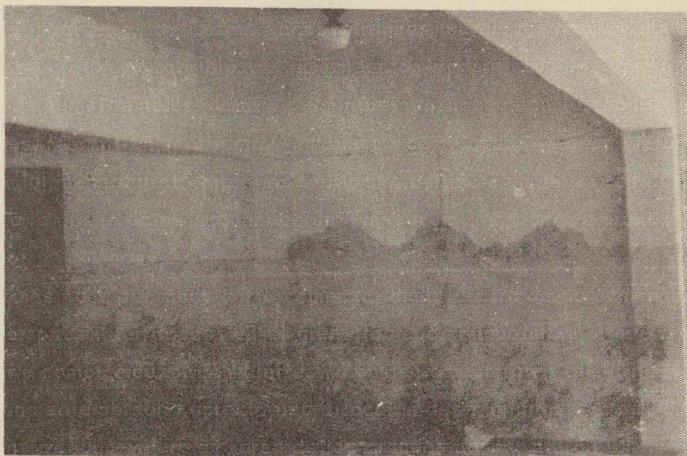


Fig. 20.- Escuela Miguel Alemán, de Minatitlán. Fractura diagonal y a lo largo de un "conduit" de la instalación eléctrica. A la izquierda, una fractura de la pared, que comenzó en el marco de la puerta

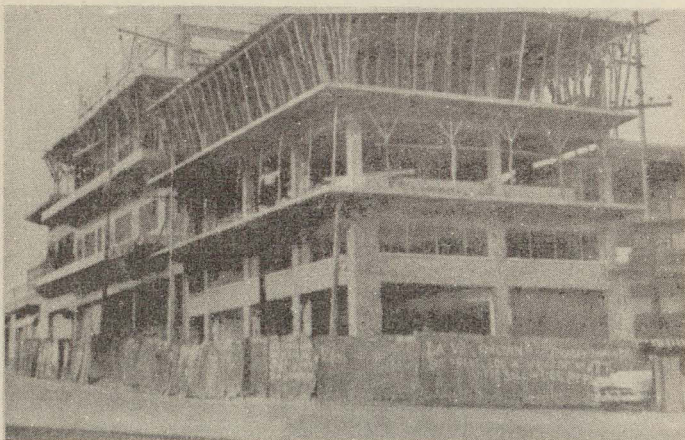


Fig. 21.- Edificio en construcción en la calle principal de Minatitlán. Las estructuras modernas de hormigón armado, resisten sin averías los terremotos de intensidad VIII de la Escala de Mercalli modificada.

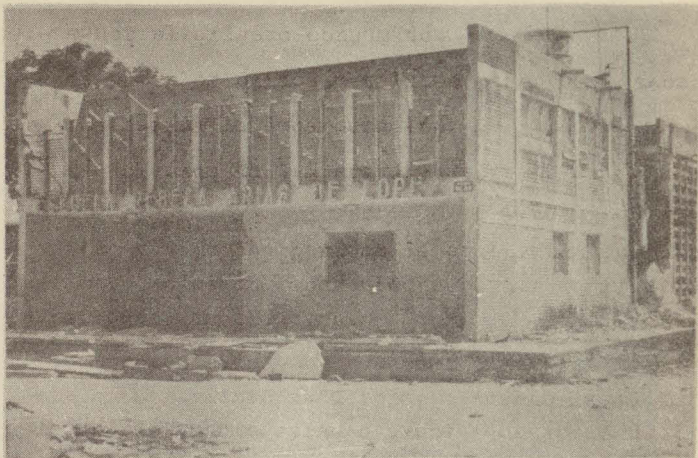


Fig. 22.- Una escuela de hormigón armado, en Jáltipan. El edificio, aunque moderno, no fue construído tomando las necesarias precauciones y resintió serios daños.

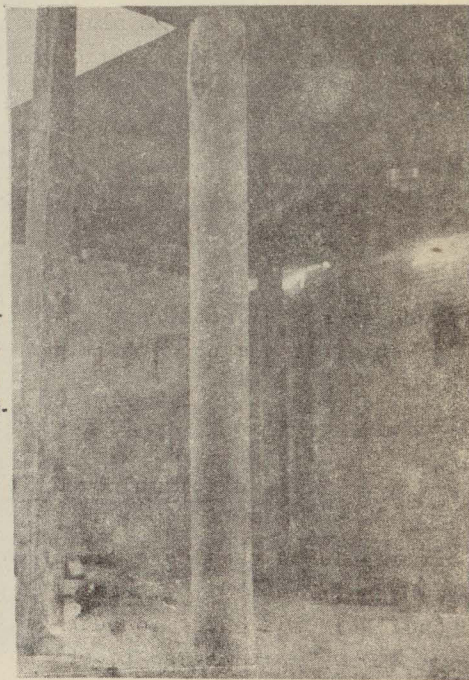


Fig. 23.- Delgada columna de la construcción de la fig. 22, degollada abajo y arriba. Soportaba únicamente una losa delgada, cuyo peso no era excesivo. El diseño era deficiente y la mano de obra, pobre.

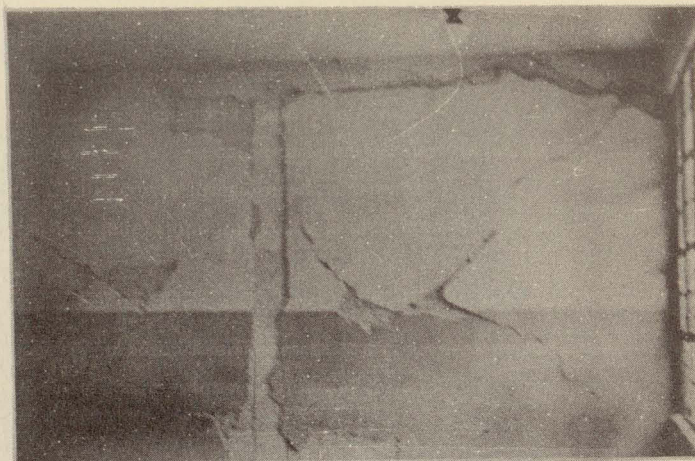


Fig. 24.- Roturas en diagonal de una pared de relleno en un edificio de hormigón armado, en Minatitlán.

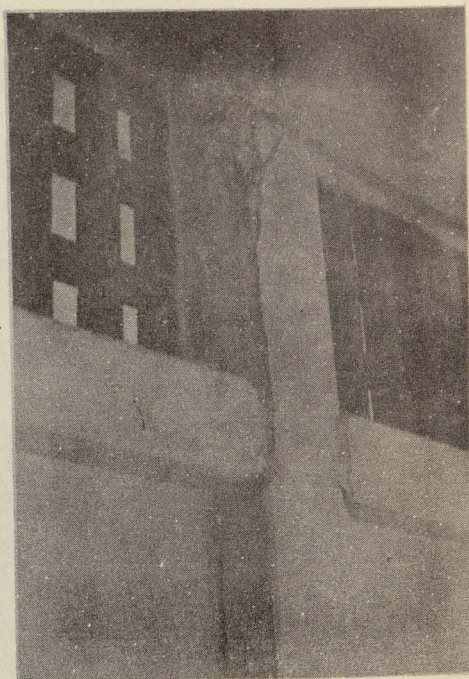


Fig. 25.- En una escuela de Coatzacoalcos ocurrieron estos daños en la estructura.

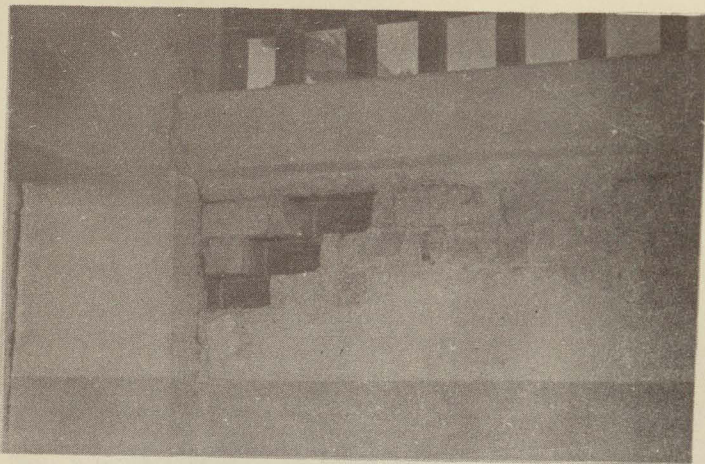


Fig. 26.- Este tipo de falla, ocurrido en una escuela de Coatzacoalcos, es perfectamente evitable con un mayor conocimiento de la sismología.

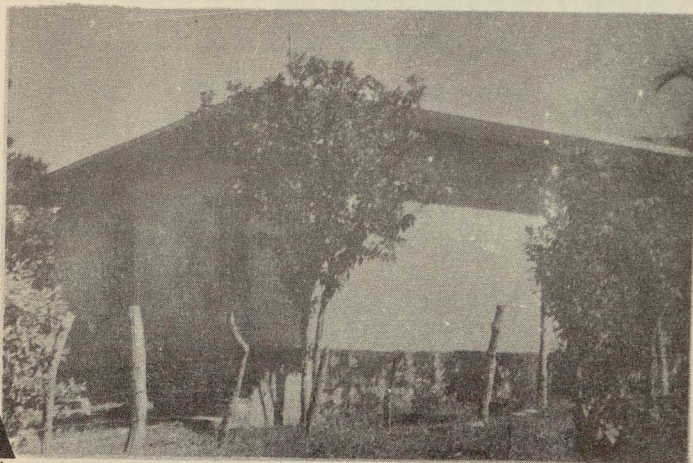


Fig. 27.- Esta casita, en las vecindades de Minatitlán, sufrió fracturas diagonales en las paredes de tabique hueco. Obsérvese que comienzan en las ventanas y lugares de menor resistencia.



Fig. 28.- Hundimiento de tejas y rotura cerca de la base, de las columnas de una casa de campo en las cercanías de Minatitlán. Construcción antigua.

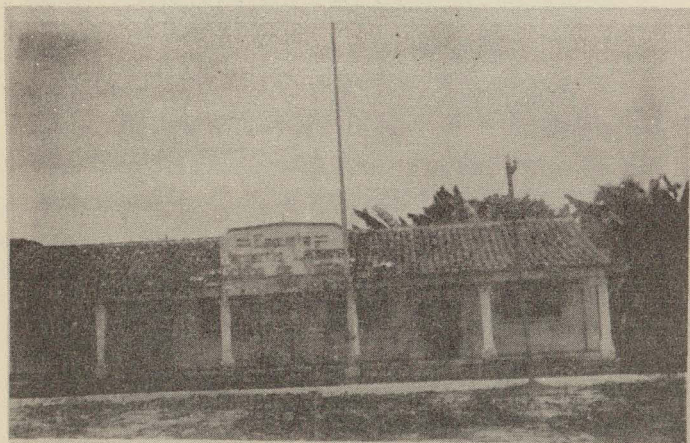


Fig. 29.- La escuela de Soconusco fue construida según métodos ya antiguos, pero con un poco de cuidado. Solamente resintió ligeros daños.

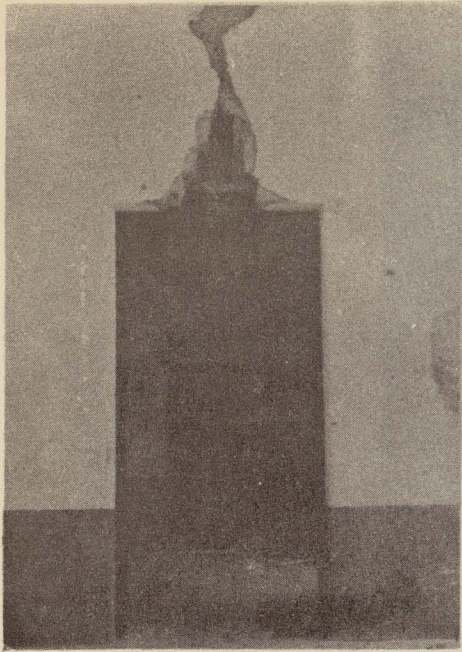
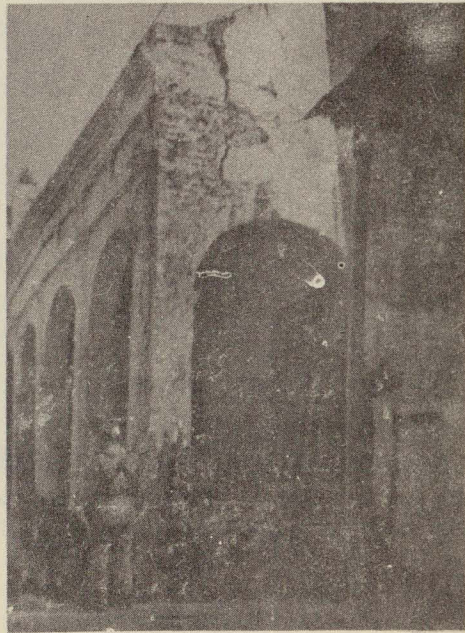


Fig. 30.- Fractura de una pared de ladrillo, sobre el marco de una puerta, en el Hotel Hidalgo, de Acayucan.

Fig. 31.- Los "portales" oscilan de modo independiente y se separan del resto del edificio. Calle de Iturbide en Minatitlán.



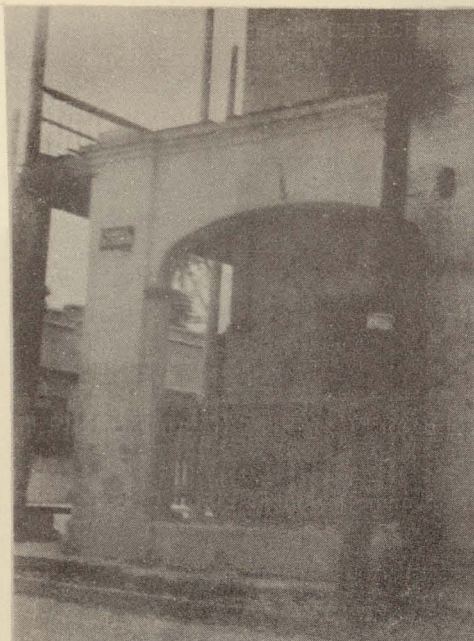


Fig. 32.- Los arcos de ladrillo de los "portales" fallan generalmente en la clave. Calle de Iturbide en Minatitlán.

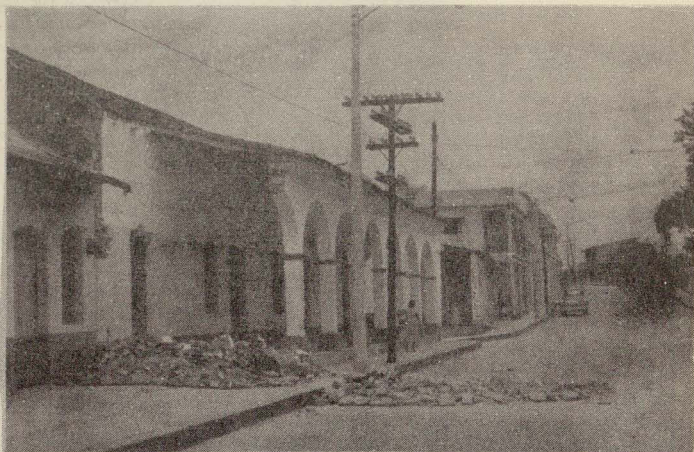


Fig. 33.- Las arcadas o "portales" construidos independientemente del resto del edificio son muy peligrosos durante un terremoto. Hotel Hidalgo, en Acayucan.



Fig. 34.- Columnas fracturadas, arcos fallados, hundimiento de las tejas y paredes cuarteadas, son los resultados de métodos deficientes y pobre mano de obra en la construcción del Hotel Hidalgo, en Acayucan.