

ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

SAN MARTIN 352 — CASILLA 487 — SANTIAGO

S u c e s o r .

D e l a :

Y d e l :

«SOCIEDAD DE INGENIERIA» «INSTITUTO DE INGENIEROS»
Fundada el 31 de Mayo de 1888 Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXVII ● MARZO - ABRIL DE 1954 ● N.ºs 3 - 4

Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pdlte.), Sergio Silva, Alberto Covarrubias, Rodrigo Flores y Marcelo Honorato

Rodrigo Flores, César Barros, Reinaldo Muñoz

Informe sobre el terremoto del 6 de mayo de 1953

El día 6 de mayo de 1953 una vasta zona del valle central fué sacudida por un violento movimiento sísmico con caracteres de terremoto. La zona más afectada puede ubicarse entre las ciudades de Concepción, Los Angeles, Chillán y Cauquenes.

El Instituto de Ingenieros de Chile designó una comisión integrada por los señores ingenieros Rodrigo Flores, César Barros y Reinaldo Muñoz y los estudiantes de Ingeniería señores Luis Arellano y Benjamín Margulis para que redactaran un informe sobre las consecuencias del temblor.

En los primeros momentos se creyó que se había repetido una catástrofe similar a la que en 1939 sacudió la misma zona; sin embargo, la inspección de la zona afectada por el temblor permite asegurar que este movimiento fué menor que el del año 1939.

Es de lamentar el hecho de que el equipo científico de que se disponía en la zona no fuese el más adecuado para registrar movimientos de gran intensidad, lo cual relegó al terreno incierto de las suposiciones muchos de los datos más interesantes.

La intensidad (o daños) del terremoto se ha estimado aproximadamente en el grado 5, escala chilena (se destruyen parcial o totalmente algunas chimeneas, murallas y otras partes del edificio; caen algunas casas). Por comparación, debe observarse que el terremoto de Chillán de 1939 fué estimado en grado seis de la misma escala (desastre general: caen la mayoría de las casas, se producen grietas en los terrenos). Es interesante comparar estos terremotos con los observados en otras localidades del país. Ver lista aparte.

Los daños estimados a la propiedad en el terremoto del 6 de mayo fueron de \$ 1.600 millones, según informe dado por el Ministerio del Interior. Las víctimas debido al temblor totalizaron nueve personas. Se debe atribuir el número comparativamente pequeño de víctimas al hecho de que, por haberse producido el sismo a medio día, fué recibido éste con relativa serenidad, no registrándose mayor número de víctimas motivadas por el pánico. Fué también providencial que el gran número de parapetos y cornisas que se desprendieron no ocasionaran mayores accidentes.

El área en la cual ocurre un terremoto debiera ser considerada como un inmenso laboratorio para la investigación de los efectos del sismo. La observación de los daños que resultan del temblor constituyen la base principal de la formulación de reglas para que se efectúe el diseño anti-sísmico; esto es especialmente verdadero en lo que se refiere a los detalles de construcción.

Muchos de los daños a las estructuras en el terremoto del 6 de mayo fueron de naturaleza espectacular; sin embargo, en muchos casos no puede deducirse una enseñanza para el futuro. La mayoría de los destrozos aparecen en estructuras obviamente mal construídas o con sus materiales de dudosa calidad. Las observaciones más completas sobre el efecto del temblor pueden obtenerse de las construcciones mejor diseñadas y construídas. No obstante, debe reconocerse que ciertas estructuras que aparentemente han resistido perfectamente bien los efectos del temblor pueden haber sufrido daños que no hayan sido detectados aún.

Puesto que en la zona afectada prácticamente no existían edificios altos, este terremoto no pudo poner a prueba las teorías de diseño de este tipo de estructuras. En Concepción, sin embargo, fué posible observar en la fachada de albañilería de un edificio de 4 pisos las típicas grietas a 45° debido al esfuerzo de corte, siendo estas grietas más importantes en los elementos más rígidos de la fachada. Esta observación y otras análogas reafirman la teoría corriente en el diseño de que las fuerzas horizontales inducidas por el temblor se reparten en proporción a la rigidez de los elementos resistentes.

En otro edificio pudo observarse, además, el efecto atezador de la caja escalera que al servir de puntal a una serie de marcos iguales de gran elasticidad, determinó una concentración de esfuerzos para los cuales no había sido diseñada, produciéndose la correspondiente ruptura. En esta misma estructura, en que casi todos los pilares sufrieron grietas capilares, pudo notarse que éstas eran más intensas en un grupo de ellas donde había sido disminuído el largo libre en apenas 1/6 de su longitud, por motivos arquitectónicos; en consecuencia, la rigidez de ellos había aumentado, confirmándose nuevamente la observación hecha antes.

Fué curioso constatar asimismo que los vidrios colocados en ventanas con marcos de madera no se quebraron en porcentaje tan alto como los colocados en marcos de acero.

Al observar los daños producidos por un temblor, se advierte que mientras los elementos primarios de la estructura están sometidos a fatigas normales, se producen altas concentraciones de fatigas en las aberturas, grietas existentes, discontinuidades, elementos rígidos, etc. Es en consecuencia importante que en el diseño de la estructura la planificación de los elementos resistentes sea tal que cada elemento en particular pueda tomar satisfactoriamente fatigas altas al corte, a la flexión y a la compresión. La correcta ubicación de las armaduras libres de

grifaduras, así como los estucos de poco espesor son precauciones que deben tenerse en cuenta, ya que a veces su súbita falla ocasiona efectos dinámicos adicionales, que pueden ser muy importantes. En la estación de ferrocarril de Concepción, la marquesina acusaba la destrucción de la franja de estuco superior, hallándose éste desprendido en una corona de más o menos 10 cm. Al observar estos pilares, se podía llegar a la conclusión de que su rigidez inicial (supuesto que el estuco haya resistido algún esfuerzo) fué reducida apreciablemente.

Parece —en consecuencia— que la magnitud de las fuerzas de inercia fuera de orden secundario frente a la consideración de un diseño bien proporcionado. Es lógico que no se puede diseñar ciegamente de acuerdo con los reglamentos, sin una comprensión de los principios básicos y de las distorsiones y reacciones de una estructura. En vista del gran número de incógnitas y variables en el problema, la tarea del diseño proporcionado es muy compleja. Por supuesto, un diseño proporcionado puede alcanzarse sólo en un sentido amplio. El factor esencial es el juicio y la experiencia de un ingeniero competente que pueda visualizar las deformaciones de las estructuras.

Las construcciones modernas hechas de acuerdo con la nueva Ordenanza General de Construcción, en su gran mayoría resistieron el temblor sin sufrir daño. Esto es una comprobación de que un buen diseño, la utilización de buenos materiales y el cumplimiento de la ordenanza, permiten llegar a construcciones verdaderamente antisísmicas.

Los parapetos de las casas se demostraron como los elementos más débiles y peligrosos y esta experiencia indica la positiva necesidad de eliminarlos o de diseñarlos y construirlos de manera que puedan quedar en su lugar cuando sobrevenga un terremoto. En general, esta ornamentación arquitectónica, especialmente parapetos y cornisas, constituye una grave amenaza para los habitantes. La caída de estos elementos se produce a la entrada de los edificios y a lo largo de las veredas y es comprobado que existe un impulso irresistible de huir del interior de un edificio durante un temblor. Así pues, es el hecho que los lugares donde la gente se ubica durante el movimiento son los más peligrosos.

Hay que reconocer muy seriamente que un mayor progreso en la ingeniería sísmológica va a depender en alto grado de las observaciones hechas durante y después de un temblor. No es sorprendente que casi todos los informes de temblores son en cierto modo exagerados y esto es completamente sin intención. La tendencia es describir y fotografiar lo anormal que en este caso es la estructura que ha caído o ha sufrido apreciablemente. La estructura vecina que permanece intacta después del terremoto no recibe la atención de nadie. Queda, en consecuencia, una constancia más o menos completa en lo que a daños se refiere, pero muy incompleta en lo que atañe a los edificios bien construídos que no sufrieron averías. Hay que destacar que el valor de las observaciones se reforzaría considerablemente si los hechos fueran registrados en una forma organizada y previamente determinada. Se sugiere preparar un manual que contenga una breve descripción del efecto de los temblores en distintos tipos de estructuras con descripción de la naturaleza y extensión de los daños y que contengan hojas formularios para registrar los daños producidos por el temblor. Este manual debería repartirse entre los distintos habitantes de una ciudad afectada por un sismo y les diría *qué daños hay que mirar, cómo hay que mirarlos y cómo deben registrarse.*

Parece interesante, en el momento actual, para sacar alguna conclusión de valor del último terremoto, que se estudie cuidadosamente los daños estructurales de edificios razonablemente bien construídos, estudiándose sus planos de estructuras y sus condiciones de fundación; analizando los elementos agrietados o fallas a la luz de las diferentes hipótesis de cálculo a fin de poder reconstruir el probable origen de la falla, sea desde el punto de vista del diseño general o desde el punto de vista de los defectos de ejecución.

Existe, indudablemente, una concordancia demasiado notable entre ciertas fallas que acusan franco desconocimiento de una buena doctrina estructural, que no puede achacarse a falta de conocimientos teóricos, sino más bien a falta del sentido de análisis de los efectos que un determinado movimiento puede producir en estructuras que, aún cuando han sido calculadas actuando en el plano, actúan realmente en el espacio. Esto modifica a veces substancialmente las sollicitaciones y deformaciones del conjunto, deformaciones que si bien no nos es dado conocer cuantitativamente, debemos apreciar cuando menos cualitativamente en todo su conjunto. Este sentido del análisis del conjunto, desgraciadamente, sólo se adquiere mediante la continuada observación de los fenómenos de fallas hasta incorporar en el proyectista ese sentido del conjunto que le permiten resolver prácticamente problemas de criterio que el cálculo aun no puede abarcar.

Es, por lo tanto, de sumo interés el análisis sistemático de las estructuras que han fallado y cuyos antecedentes se conocen, a fin de ir incorporando ordenadamente una serie de experiencias prácticas cuyo análisis nos lleve a establecer reglas de buena construcción y diseño, depurando nuestro criterio en estos problemas y unificando conclusiones en torno a muchos de ellos. Esta labor, de por sí larga y paciente, podría ser hecha por alumnos de los últimos años de nuestras escuelas, dirigidos por sus profesores, redundando este trabajo no sólo en beneficio general sino también de los propios estudiantes que irían adquiriendo, ya antes de dejar las aulas, una experiencia valiosa.

OBSERVACIONES DEL EFECTO DEL TEMBLOR EN DOS ESTRUCTURAS ESPECIALES

1) *Muelle de la Compañía de Acero del Pacífico en Huachipato*

Descripción del muelle. La estructura se compone de una losa de hormigón armado de 270 m. de largo por 22 m. de ancho, soportada sobre pilares del tipo 14 BP 89. La longitud de los pilotes varía entre 10 y 18 m. y van dispuestos en 59 filas a 4.60 m. entre ellas. En la cabecera del muelle, el terraplén de acceso está retenido por un tablaestacado. En cada fila hay 10 pilotes verticales; en sentido transversal, en cada fila, van dispuestos dos pilotes con inclinación 12/5 simétricamente colocado respecto de la vertical. En el sentido longitudinal, en la segunda fila, más próxima al terraplén de acceso van dispuestos cuatro pilotes con inclinación de 1.5/1. El contacto de los pilotes longitudinales con la losa superior se realiza a través de un sistema de vigas transversales y longitudinales. Para mejorar la adherencia entre el pilote y el concreto, la cabeza superior del pilote va provista de una freta de 3/8" con un paso de 5 cm. Por efecto del terremoto, se observaron daños provocados aparentemente por un movimiento en el sentido

longitudinal del muelle. Los pilotes longitudinales fueron obligados a resistir inicialmente todas las fuerzas de inercia inducidas en el sentido más largo del muelle. Al no estar previstos para recoger tales fuerzas, se produjeron daños en la zona de contacto del pilote con la losa superior. Las grietas provocadas en la unión se pueden explicar por la compresión y tracción, respectivamente, que hubo de transmitir el pilote a la superestructura de hormigón. Por efecto del movimiento sísmico se produjo una interacción entre la estructura de hormigón, el tablaestacado frontal y el terreno retenido por este tablaestacado.

Las vigas transversales directamente en contacto con el tablaestacado aparecen agrietadas por la acción de flexión lateral a que fueron sometidas. Se pudo observar también una separación entre la estructura y el terraplén de acceso. Los dos rieles de 80 lbs./pie que constituyen la vía férrea que une el muelle al terraplén de acceso, fueron cortados por el efecto del impacto.

Debe anotarse, además, el hecho de que en el punto contrario al que estaban ubicados los rieles, el daño de choque contra los tablaestacados del terraplén es más notable, lo cual parece indicar que la falla brusca de los rieles por tracción produjo un efecto de impacto con rotación que explicaría la mayor intensidad de la falla anotada. Este efecto ya ha sido observado en otras ocasiones.

2) *Edificio de la iglesia de los Sacramentinos en la ciudad de Chillán.*

Este edificio, construido en esqueleto de acero y revestido en parte por hormigón armado débilmente en sus fachadas y el resto recubierto con un enfoscado de yeso sobre listones, fué francamente dañado en sus revestimientos por el sismo, sin que ello afectara mayormente (por lo menos, así se estimó en una primera observación) su estructura resistente. Sólo en el ábside se observaron fallas más graves en sus extremos, producidas por una concentración de esfuerzos debido a mayor rigidez, falla cuyo origen se remontaba al sismo anterior que pandeó algunas piezas, que al ser sometidas a nuevos esfuerzos en ese mismo estado de deformación, produjeron un vaciamiento limpio de los rellenos, retrotrayendo la estructura al estado de la misma antes de su reparación, hecha por simple parche y relleno de las fallas.

Este edificio, cuyo aspecto interior parecía acusar un estado de destrucción peligroso y para el cual existían órdenes de demolición, parece, sin embargo, recuperable como lo demuestra el hecho de que habiendo sufrido fallas similares el año 39, su reparación general hecha con no todo el cuidado y buen sentido que estos casos requieren, le haya permitido resistir nuevamente sin desplomarse, el sismo del 6 de mayo.

LISTA DE TERREMOTOS DESTRUCTORES OCURRIDOS EN CHILE *

- 1520 Provincias australes de Chile. Latitud probable del epicentro de 40° a 41° S. Grado V.
- 1543 Provincia de Tarapacá y sur del Perú. Latitud probable del epicentro 19° a 20° S. Grado V.

* En esta lista se han suprimido los terremotos de Grado IV.

- 1562 La Imperial (37° a 38° S). Grado VI. Maremoto en Arauco.
- 1570 Concepción (36° a 37° S). Grado VI.
- 1575 Entre Villarrica y Castro (39° a 40° S). Grado V.
- 1604 Arica (18° a 19° S) y Arequipa. Grado VI.
- 1615 Arica y Tacna (18° a 19° S). Grado V.
- 1639 Coquimbo (29° a 30° S). Grado V.
- 1642 ó 1643. Arica. Grado V.
- 1647 Santiago. Grado VI. El área de destrucción abarcó desde el río Choapa al río Maule (31° a 36°).
- 1648 Coquimbo (29° a 30° S). Grado V.
- 1657 Concepción (36° a 37° S). Grado VI. Le siguió un maremoto.
- 1681 Arica (18° a 19° S). Grado V.
- 1715 Arica (18° a 19° S). Grado V.
- 1730 Santiago y Valparaíso. Grado V. El área damnificada se extendió de La Serena a Chillán (29° a 36° S). Maremoto de Coquimbo a Valdivia.
- 1737 Entre Valdivia y Castro (40° a 42° S). Grado V.
- 1742 Archipiélago de Los Chonos (45° a 46° S). Grado V.
- 1751 Concepción. Grado VI. Daños de Curicó a Arauco (34° a 37° S).
- 1790 Tucapel (37° a 39° S). Grado V.
- 1796 Copiapó. Grado V. Daños hasta La Serena (27° a 30° S).
- 1819 Copiapó. 3, 4 y 11 de abril. Grados V, VI y V.
- 1822 Copiapó y Coquimbo. (5 de noviembre). Grado V.
- 1822 Valparaíso. (19, 22 y 25 de noviembre). Grados V. La zona devastada abarcó Limache, Casablanca y Quillota.
- 1829 Valparaíso. Grado V.
- 1833 Arica. Grado V. (25 de abril).
- 1833 Arica. Grado V. (18 de septiembre).
- 1835 Concepción y Talcahuano. Grado VI.
- 1837 Valdivia, Osorno y Ancud (39° a 41° S). Grado V.
- 1843 La Serena. Grado V.
- 1845 Arica. Grado V.
- 1847 Copiapó. Grado V. (19 de enero).
- 1847 La Ligua y Petorca (32° a 33° S). Grado V. (8 de marzo).
- 1847 Coquimbo. Grado V. (8 de octubre).
- 1851 Santiago y Valparaíso. Grado V. (2 de abril).
- 1851 Copiapó a Vallenar (27° a 29°). Grado V. (26 de mayo).
- 1859 Caldera y Copiapó (27° a 28° S). Grado V.
- 1870 Calama (23° a 24° S). Grado V.
- 1871 Tarapacá (19° a 20° S). Grado V.
- 1873 Chile Central (32° a 34° S). Grado V.
- 1876 Toco (22° a 23° S). Grado V. (26 de octubre).
- 1876 Latitud 31° a 32° S. Grado V. (11 de noviembre).
- 1877 Iquique (20° a 21° S). Grado VI. Se sintió hasta Perú, Bolivia y Argentina. El maremoto que le siguió produjo una ola que llegó a California y Nueva Zelandia. Se notó un descenso en la costa. (9 de mayo).
- 1879 Territorio Magallánico y Tierra del Fuego (53° a 54° S). Grado V.
- 1880 Valparaíso. Grado V.

-
- 1906 Gran desastre en Chile central. Grado VI. Destrucciones desde Quilimarí hasta Curicó.
- 1909 Chañaral, El Inca, Copiapó (27° a 29° S). Grado V.
- 1911 Pozo Almonte e Iquique. Grado V.
- 1918 Copiapó. Grado V.
- 1922 Provincia de Atacama (27° a 29° S). Grado VI.
- 1927 Epicentro en la Cordillera de los Andes (32° a 33° S). Destrozos en Santiago y Mendoza. Grado V. (14 de abril).
- 1927 Aisén (45° a 46° S). Grado V. (21 de noviembre).
- 1928 Talca (35° a 36° S). Grado V.
- 1939 Chillán y Concepción. Grado VI. Zona damnificada 35° a 38° S. (24 de enero).
- 1943 Combarbalá e Illapel (31° a 32° S). Grado V.