

SISMO DEL 28 DE MARZO DE 1965, CHILE INFORME SOBRE DAÑOS EN ESTRUCTURAS

*Joaquín Monge E., Luis A. Rosenberg V., Alberto Vives E.
y Fortunato Yoma Y.*

CONTENIDO

INTRODUCCION	68
DAÑOS EN EDIFICIOS Y EN INSTALACIONES INDUSTRIALES	70
1. Daños comunes a distintos tipos de edificación	70
2. Daños en estructuras de acero	71
3. Construcciones con estructuras resistentes de hormigón armado	71
4. Construcciones con muros de albañilería, provistos de pilares y cadenas de hormigón armado	72
5. Edificios con muros de mampostería de piedra	72
6. Edificios con estructuras de madera	72
7. Casas y edificios contruidos en adobe	73
8. Construcciones que no están consideradas en la ordenanza actual	74
9. Fallas de fundaciones	74
DAÑOS EN OBRAS DE INGENIERIA	75
COMENTARIOS	76
DESCRIPCION DE FIGURAS Y FOTOGRAFIAS	entre págs. 80 y 81

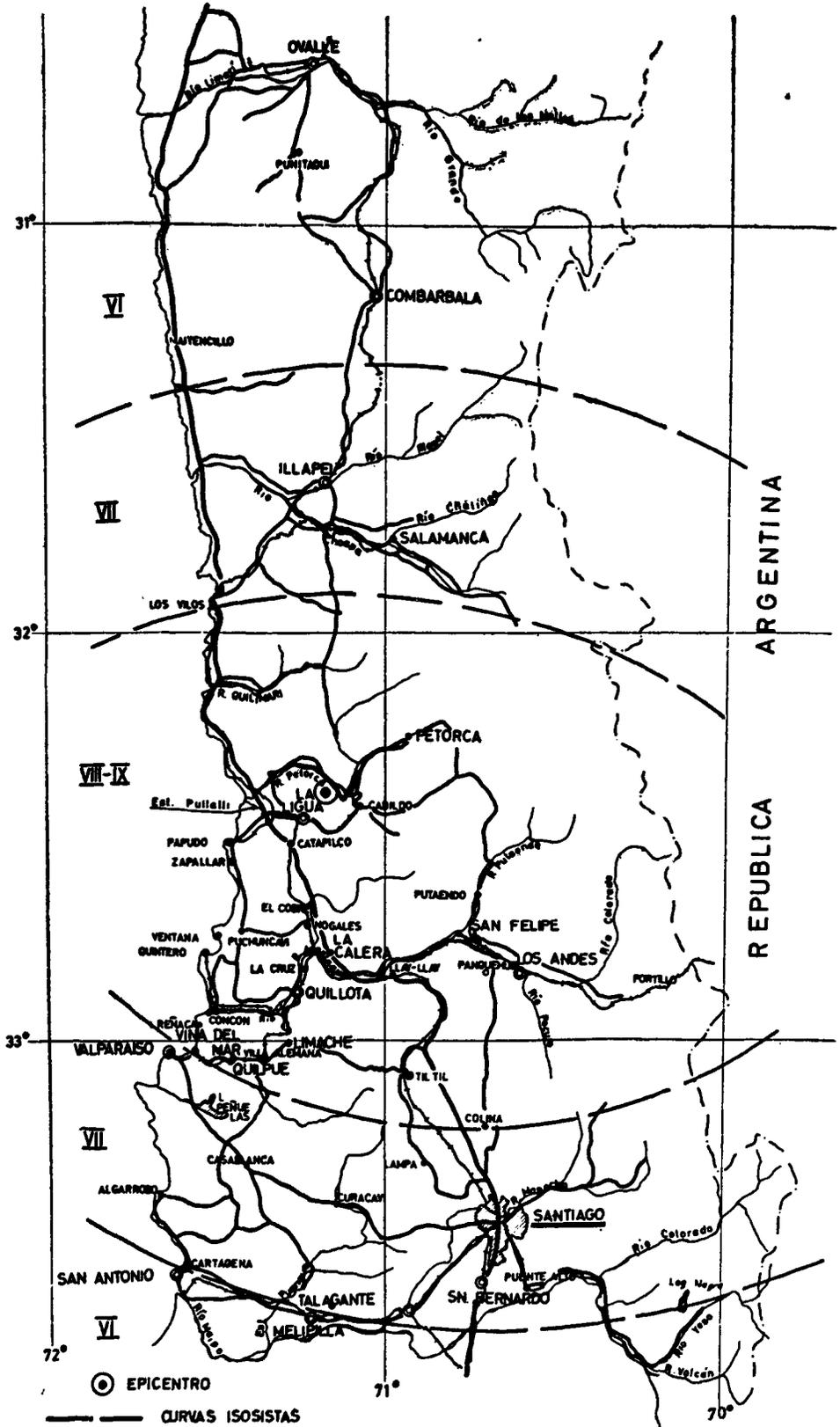


Figura 1. Mapa de la zona mesosísmica

SISMO DEL 28 DE MARZO DE 1965, CHILE. INFORME SOBRE DAÑOS EN ESTRUCTURAS

por

Joaquín Monge E.¹; Luis A. Rosenberg V.²; Alberto Vives E.³ y Fortunato Yoma Y.⁴

Laboratorio de Estructuras, Depto. de Obras Civiles. Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas.
Universidad de Chile

El propósito de este informe es resumir las observaciones hechas en terreno a partir del día subsiguiente al sismo por dos comisiones designadas por el Laboratorio de Estructuras y en las que participaron, aparte de los Ingenieros mencionados, los alumnos de sexto año de Ingeniería, Sres. Víctor Gorodischer R., Uri Hammer M. y Bernardo Waisman F., y el alumno del sexto año de Arquitectura, Sr. Alberto Vives M. El trabajo en terreno tuvo por objeto reunir información preliminar sobre los tipos de daños más característicos observados en las estructuras de la zona. Resultados de este viaje son las observaciones generales que se consignan a continuación. Este informe no es exhaustivo, puesto que su propósito no es servir de base a una evaluación de daños o un proyecto de reconstrucción, sino el de analizar el tipo de daños en las estructuras más importantes y aquellos ocurridos a estructuras de menor importancia, pero de frecuente construcción. Se ha procurado confrontar estos daños con la ordenanza chilena de construcción y con la práctica usual de diseño y construcción en Chile y de formular algunas recomendaciones tendientes a prevenir en el futuro la repetición de estos daños.

El informe ha sido redactado por los ingenieros Sres. Monge y Rosenberg. Los comentarios y observaciones hechas por el Profesor Jefe del Laboratorio, Ing. Sr. Rodrigo Flores A. y por los Ingenieros Sres. Vives y Yoma, han sido incluidos en el texto del informe.

La colaboración del Ing. Sr. Edgar Kausel, Director del Depto. de Geofísica, Sismología y Geodesia, que ha permitido completar la información referente a aspectos sismológicos, ha sido incorporada en la introducción.

Santiago, noviembre de 1965.

¹Ingeniero Jefe, Profesor de Estabilidad de las Construcciones.

²Ingeniero Civil, Profesor de Estabilidad de las Construcciones.

³Ingeniero Civil, Profesor de Construcción.

⁴Ingeniero Civil.

I. INTRODUCCION

El día domingo 28 de marzo de 1965, a las 12:33: 15,5 horas (16:33: 15,5 GMT), ocurrió en la parte central de Chile un sismo de caracteres destructivos, cuya zona mesosísmica puede limitarse aproximadamente a Illapel, por el Norte, y San Bernardo, por el Sur (ver mapa), estando entre las ciudades dañadas Viña del Mar, Valparaíso y Santiago, que son en orden creciente las tres ciudades más pobladas del país.

Según lo establecido por el Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile, el epicentro estaría ubicado a unos 138 a 140 Km de Santiago, en la zona vecina a La Ligua (Latitud $32^{\circ}20'$ S, longitud $71^{\circ}10'$ W). La profundidad del foco ha sido calculada en 61 Km. \pm 15 Km. (U. S. C. G. S.). La magnitud ha sido fijada en $7\frac{1}{4}$ en la escala de Richter (Pasadena) y en $7\frac{1}{2}$ (Punta Arenas).

Las intensidades máximas que el sismo alcanzó corresponden a 8 a 9 en la escala internacional de Mercalli modificada.

Este sismo fue precedido por algunos movimientos premonitores, entre los cuales merece destacarse el que tuvo lugar el lunes 22 de marzo, a las 18:57 hrs. Numerosas réplicas han tenido lugar, a razón de 6 ó 7 diarias, siendo la más importante la ocurrida el domingo 2 de mayo, a las 21 hrs., que alcanzó a causar pánico en las numerosas ciudades afectadas por el movimiento principal.

Las aceleraciones máximas registradas en Santiago fueron de 0,187 g. en la componente horizontal S 80° W; de 0,71 g. en la componente horizontal N 10° W y de 0,085 g. en la componente vertical. Estas aceleraciones se registraron en un acelerógrafo de movimiento fuerte tipo Montana suministrado por el United States Coast and Geodetic Survey, de 0,065 seg. de período propio, amortiguamiento cercano al crítico y que registra los sismos en una escala de aproximadamente 1 cm. = 0,077 g. Este instrumento está instalado en el subterráneo de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, en Santiago. La misma estación registró el sismo en otro acelerógrafo de movimiento fuerte tipo SMAC, procedente del Earthquake Reseach Institute de Tokyo, pero su registro ha sido difícil de interpretar hasta la fecha.

Queremos observar de paso que la zona afectada por el terremoto ha sido frecuentemente atacada por movimientos sísmicos, entre los cuales hay que destacar: el del 13 de mayo de 1647, que destruyó Santiago; el del 8 de julio de 1730, seguido de violento maremoto en Valparaíso; el del 25 de mayo de 1751; el del 19 de noviembre de 1822, con maremoto en Valparaíso y solevantamiento de la costa; el del 16 de agosto de 1906.

De acuerdo con la información que tenemos hasta la fecha, las pérdidas humanas ascienden a 248 muertos y 350 heridos. Las causas de muertes son:

Avalancha de El Cobre (desaparecidos)	222
Rodados de rocas	5
Derrumbe de muros, cornisas, chimeneas	19
Pánico	2

En el caso de El Cobre, un tranque de relaves, provenientes de una planta de concentración de minerales falló, arrasando a una población situada aguas abajo al pie del tranque.

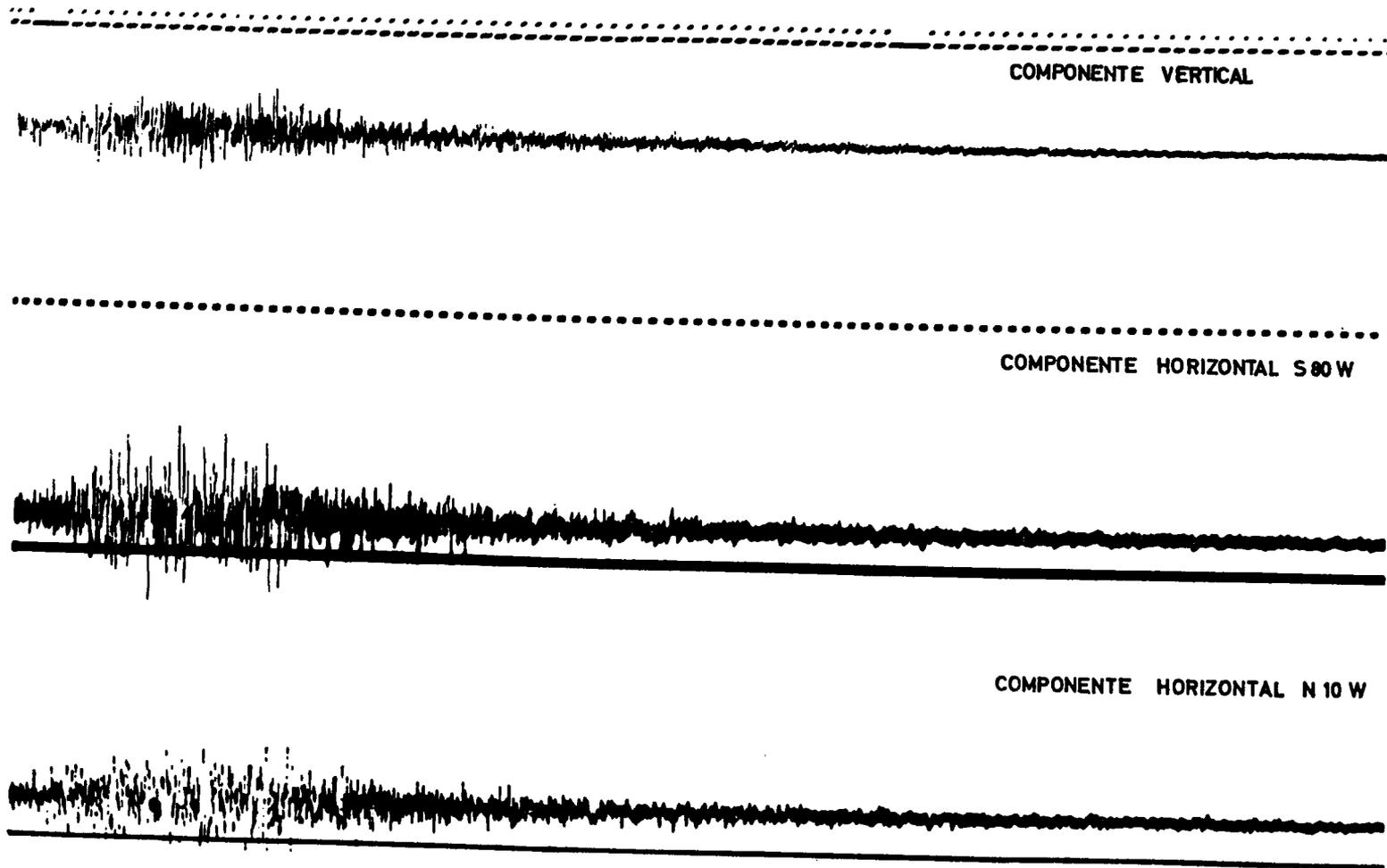


Figura 2. Acelerograma del terremoto del 28 de marzo de 1965, obtenido en Santiago

Las pérdidas materiales han sido estimadas provisoriamente en las cantidades de E° 439.000.000, correspondiendo E° 107.000.000 al sector público, E° 254.000.000 a viviendas y E° 78.000.000 al sector privado. Alrededor de 21.000 viviendas fueron destruidas y más de 71.000 han debido ser reparadas.

En las zonas rurales la construcción es fundamentalmente de adobe. En las áreas urbanas predominan en las viviendas de uno y dos pisos los muros de albañilería de ladrillos provistos de pilares y cadenas de hormigón armado, así como también las tabiquerías de madera rellenas con adobillo; estas viviendas no tienen por lo general losas de hormigón armado sino pisos y techos de madera. Hay en las ciudades numerosos edificios colectivos de hasta 5 pisos, con muros de albañilería, pilares, cadenas y losas de hormigón armado; existen también muchos edificios de hormigón armado estructurados en su mayoría con muros rígidos, que tienen por lo general hasta 15 pisos, aunque hay un caso excepcional en Santiago de un edificio de 28 pisos.

Citaremos algunos datos sobre porcentajes de destrucción de casas en distintos lugares de zonas rurales: Ventanas 80%; Nogales 95%; Hijuelas 81%.

II. DAÑOS EN EDIFICIOS Y EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

1. Daños comunes a distintos tipos de edificación.

En numerosas oportunidades se observan daños producidos por choques entre distintas partes de un edificio y entre edificios vecinos debido a que las juntas de expansión no tenían la separación necesaria. Este efecto, observado ya en terremotos anteriores, se agrava por la mala práctica constructiva de dejar corrientemente el moldaje de madera llenando la junta. En ciertos casos, partes de un mismo edificio construidas en materiales diferentes y yuxtapuestas sin junta de expansión chocaron por la diferente deformabilidad de las partes; hubo daños, por ejemplo, en estructuras construidas por tabiquerías de madera adyacentes a estructuras flexibles de hormigón armado, siendo aquéllas muy dañadas por estas últimas.

Hubo daños considerables en la estructura soportante de muchos estanques para agua potable colocados sobre edificios de varios pisos. Esto sucedió incluso en Santiago, donde el movimiento sísmico fue de menor intensidad que en Valparaíso, Quillota y Calera, ciudades en que ocurrieron los casos más espectaculares. También se observó este tipo de daños en Coronel y Concepción en 1960. Los soportes dañados corresponden a dos tipos: el de muros de albañilería de ladrillos provistos de pilares y el de marcos de hormigón armado. Otros soportes constituidos por muros de hormigón armado no mostraron fallas.

Elementos secundarios unidos a las estructuras. Es el caso de chimeneas, ductos de ventilación, cornisas, parapetos y tejas. Muchas de las pérdidas de vidas y muchos daños materiales se debieron a la caída de elementos de esta clase que no estaban adecuadamente unidos a la estructura. Tratándose de elementos que están generalmente situados en la parte superior de los edificios, experimentan aceleraciones fuertes, sin que la ordenanza chilena especifique nada al respecto.

Fallas en casos de estructuración complicada, en que la transferencia de cargas no sigue un plan sencillo y lógico, fueron observadas en ciertas obras. El modelo matemático puede, en tales condiciones, diferir considerablemente del comportamiento real y la distribución de fuerzas entre los distintos elementos puede ser muy diversa a la de las hipótesis de cálculo.

2. Daños en estructuras de acero.

En las construcciones nuevas de acero que se visitaron no se encuentran daños imputables a la ordenanza chilena de construcciones o a las normas chilenas de cálculo y construcción de estructuras de acero.

Un caso interesante es el de un galpón próximo a Santiago, estructurado con marcos rígidos enrejados de barras redondas, en el que la falla de un nudo causó daños graves a la obra. Del examen resultó que una unión soldada de ese nudo falló por penetración incompleta de la soldadura y que eso se debió a que el acero no cumplía los requisitos de soldabilidad.

Otro galpón del mismo tipo falló en Calera. Es frecuente en esta clase de construcciones que por un detalle descuidado las reacciones de ciertos elementos no se entregan a nudos de la estructura principal, produciendo una flexión local de barras redondas de estas últimas.

Los muros constituidos por pies derechos y tirantes de acero y rellenos con hormigón sólo se encuentran en estructuras antiguas y confirmaron la experiencia anterior de Concepción, 1960, de comportarse mal durante sismos. Se observó la destrucción de la adherencia entre el hormigón y los pies derechos de acero con derrumbe parcial del relleno en las torres de subida al coro, Iglesia de Nogales.

3. Construcciones con estructura resistente de hormigón armado.

En edificios de hormigón armado se confirmó una vez más que las juntas de concretadura son una causa frecuente de daños, a veces bastante importantes. En estanques colocados sobre edificios y soportados sobre marcos de hormigón armado, que cayeron o debieron ser demolidos, la falla de las juntas de hormigonado fue en ciertos casos un factor importante en su destrucción.

Daños en arcos de hormigón armado fueron observados en iglesias y en puentes, quedando destrozado el hormigón en zonas inmediatas a la cara cóncava del arco. Este tipo de fallas indica la necesidad de incluir disposiciones en las normas relativas al cambio de dirección de las barras semejantes a las ya existentes que se refieren a las armaduras en piezas de eje poligonal.

Hubo importantes daños en nudos de estructuras de hormigón armado constituidas por marcos rígidos, en los cuales el número de estribos era insuficiente. En algunos casos se observó además que las barras estaban grifadas. Esto fue causa importante en fallas en marcos de hormigón armado que soportaban estanques colocados sobre edificios; también fueron responsables de daños cuantiosos en el caso del estadio de fútbol de Viña del Mar.

En una estructura de bóvedas cáscaras correspondiente a un galpón industrial, en Valparaíso, las bóvedas no sufrieron, pero sí hubo daños considerables en los pilares que las soportan cerca de la unión con la viga. Se observaron también grietas diagonales pequeñas en las vigas tensoras. Los cuatro pilares esquineros resultaron seriamente dañados.

La destrucción de tabiques de albañilería de ladrillos o de bloques y la de tabiques de yeso fue característica en edificios altos de hormigón armado. Esto se observó aun en Santiago, donde el sismo fue moderado. Este tipo de daños fue mayor en aquellos edificios muy flexibles en relación con los tabiques. Si bien estas fallas no afectan a la estabilidad de la obra, pueden originar sin embargo daños cuantiosos y revestir peligro para la vida e integridad física de sus habi-

tantes. Nos parece insuficiente lo que dice la ordenanza al respecto: "los muros se ligarán sólidamente a la estructura soportante de manera que se evite su destrucción en caso de temblores". Creemos que el término "sólidamente", ha sido interpretado con frecuencia como "rígidamente". Sería necesario hacer extensivo a estos tabiques la disposición que trae más adelante la ordenanza en relación con la interacción de elementos de diferente deformidad.

4. Construcciones con muros de albañilería, provistos de pilares y cadenas de hormigón armado.

El comportamiento de edificios de esta clase distó de ser satisfactorio, especialmente en el caso de albañilerías de bloques de hormigón. Cabe recalcar que el terremoto fue moderado, lo que hace notable este caso especialmente en relación con el comportamiento relativamente bueno de las albañilerías durante los terremotos de Chillán (1939) y los de Concepción y Valdivia (1960). Sin duda las características del movimiento, donde han predominado las sacudidas del período corto, pueden explicar el diferente comportamiento de este tipo de edificios. No se esperaba en realidad encontrar con tanta frecuencia el tipo de daños observados: fallas de albañilería por fuerzas en su plano; grietas por flexión fuera de su plano; fallas de adherencias entre albañilería y elementos de hormigón armado; destrucción de uniones entre cadenas y pilares; separación de muros concurrentes por falla de sus amarras; daños en tabiquerías y otras de carácter común a varios tipos de edificios, enumerados más arriba.

En una apreciación preliminar de los daños, no podemos decir que el comportamiento de las albañilerías haya sido satisfactorio. Sería conveniente estudiar las posibilidades de introducir en Chile la práctica de otros países en el sentido de reforzar las albañilerías con barras de acero dispuestas en mallas.

La Ordenanza General de Construcciones y Urbanización permite bajo ciertas condiciones suprimir en edificios de muros de albañilería de un piso los pilares de hormigón armado. Podemos citar al respecto el caso muy interesante de la Población del Instituto de Vivienda Rural en La Ligua, muy cerca del epicentro, que se compone de casas pareadas de un piso, con muros de albañilería de ladrillos y provistos únicamente de cadenas de hormigón armado, que no experimentó ningún daño en las estructuras.

5. Edificios con muros de mampostería de piedra.

En los lugares visitados no se observaron daños en muros de piedra unidos con mortero de cemento y provistos de pilares y cadenas de hormigón armado, aunque sí en muros divisorios de mampostería sin refuerzos. Esta clase de construcción es relativamente escasa en la zona.

6. Edificios con estructura de madera.

La mayor parte de edificios de este tipo corresponde a viviendas de uno y dos pisos, cuyos muros resistentes son tabiquerías de madera rellenas con adobillo u hormigón, o tabiquerías huecas recubiertas con madera u otros materiales. Las tabiquerías están construidas, de acuerdo con la práctica chilena, con pies derechos, diagonales, soleras y carreras que llevan en general ensambles de

caja y espiga entre los pies derechos y las piezas horizontales, cortándose el pie derecho en su encuentro con una diagonal y estando ancladas las soleras a los sobrecimientos mediante pernos o fierros doblados. Todas las uniones van clavadas. Las tabiquerías así construidas no corresponden al ideal de una tabiquería antisísmica. Ello no obstante, su comportamiento en esta ocasión fue satisfactorio, lo que comprueba indirectamente que el terremoto ha sido más bien moderado.

Un daño muy corriente en las tabiquerías llenas son las grietas acusadas a lo largo de pies derechos y diagonales, que causan a menudo alarma entre los moradores pero que no revisten ningún peligro para la estructura. Hubo algunos daños más serios tales como ser el desprendimiento de parte del relleno, que indican descuido en la unión de éste con la tabiquería; desprendimiento de tabiquerías en su encuentro con otras perpendiculares a ellas, significando la falta o insuficiencia de amarras entre tabiques; deformación permanente de la tabiquería en su plano, lo que acusa una falla en la unión de diagonales con pies derechos; finalmente fallas de la tabiquería por vejez o mala conservación de la madera, especialmente en la zona inferior en la unión con el sobrecimiento, en que se pudo apreciar la existencia de soleras y pies derechos podridos.

Las tabiquerías llenas son, cuando están bien construidas y bien conservadas, muy buenos elementos resistentes a sismos. Sin embargo, debido a su alto costo se les ha reemplazado por muros de albañilería y prácticamente no se las encuentra en las grandes ciudades en construcciones posteriores a 1940. Se las sigue empleando en pueblos que no cuentan con fábricas cercanas de ladrillos o de bloques de hormigón.

Las tabiquerías huecas recubiertas con madera se comportaron muy bien sin que pudiéramos constatar fallas.

7. Casas y edificios construidos en adobe.

Es el tipo de edificación que predomina en las áreas rurales. Es de alto costo en mano de obra, por lo cual prácticamente ya no se las utiliza en las ciudades, ni siquiera en las poblaciones marginales; en pueblos rurales en cambio, donde los salarios campesinos son muy inferiores al de los obreros de zonas urbanas y donde la lejanía de las fábricas de ladrillo hace imposible el uso de este material, subsiste aún este tipo de construcción.

La destrucción de casas y bodegas y de murallas divisorias de potreros hechas en adobe fue muy grande como se puede apreciar en los porcentajes de viviendas destruidas citadas anteriormente. Muchas de ellas quedaron con muros en pie, pero con tal cantidad de daños que son inhabitables. Casi todas eran de un piso, como lo exige la ordenanza chilena. Estimamos que debe descartarse definitivamente el uso del adobe como material estructural resistente a sismos. En ciertos casos, con muros bien trabados y de espesor adecuado y adoptando precauciones en cuanto a limitar la altura de los muros y el número y dimensiones de vanos, se puede obtener viviendas resistentes a sismos muy moderados; pero la experiencia de éste y otros terremotos muestra que en el caso de sismos destructivos estas construcciones constituyen un grave riesgo para la vida de habitantes y transeúntes siendo además el monto de los daños, que obliga generalmente a la demolición, excesivo para lo que se debe esperar de una construcción antisísmica.

8. Construcciones que no están consideradas en la ordenanza actual.

Hay un tipo de vivienda campesina que se emplea en la zona de Illapel y Salamanca, construida con quinchas (varas delgadas) afianzadas con palos redondos de diámetro regular y cubiertas con barro por una o ambas caras. Son verdaderas tabiquerías livianas que han mostrado una buena resistencia al sismo. Todas las viviendas de esta clase estaban construidas sobre faldeos, donde los terremotos tienen menor intensidad que en los terrenos planos vecinos, por lo que no podemos asegurar que al ser construidas en suelos planos hubieran tenido tan buen comportamiento.

No entraremos a analizar numerosos casos de daños ocurridos en estructuras antiguas que no cumplían en absoluto con las ordenanzas vigentes, así como a estructuras más recientes construidas sin intervención de profesionales responsables ni control adecuado. Sólo mencionaremos el de un grupo de casas de inquilinos de un piso, de reciente construcción, en la localidad de Panquehue, cuyos muros de albañilería estaban desprovistos de pilares y cadenas de hormigón armado; los dinteles estaban soportados por vigas de madera. La destrucción de los muros fue muy grave, quedando las casas inhabitables.

9. Fallas de fundaciones.

Aunque no se observaron efectos espectaculares, debido a fallas de fundaciones, este terremoto ha mostrado, una vez más, los peligros que acarrea la falta de estudios de mecánica de suelos, ya que los daños por fallas de fundaciones son muy graves y de difícil reparación.

Asentamiento diferencial. Se observaron varios casos de daños en edificios debido al asentamiento diferencial de fundaciones. En algunos casos este asentamiento se debió a que las fundaciones que fallaron fueron construidas sobre terrenos de relleno mal compactado.

En suelos naturales no compactados sucedió algo semejante. Podemos citar el caso de la Planta ENAMI en Ventanas, en que las construcciones fundadas sobre la arena natural sufrieron daños por asentamientos diferenciales, en tanto que otras estructuras importantes de la misma planta, fundadas sobre suelo compactado artificialmente, no sufrieron estos descensos.

Falla por corte. Un caso que vale la pena señalar es el de algunos estanques metálicos para combustibles, pertenecientes a ENAP en Concón. Estos estanques estaban fundados sobre arena en terrenos adyacentes al río Aconcagua y se inclinaron en forma apreciable por causa del sismo. En la vecindad inmediata de los estanques se formaron cráteres con eyección de barro. Esto hace pensar que la falla de la fundación de estos estanques corresponde a una falla de corte de la arena, debido a la elevación de la napa de agua subterránea subsecuente al sismo, disminuyendo así la capacidad portante de la arena a un valor aproximadamente igual a la mitad o aun menor del que tenía primitivamente.

Falla de taludes. De especial interés han sido los casos relacionados con la estabilidad de taludes naturales o artificiales. Entre los primeros, podemos mencionar el caso de estructuras fundadas sobre dunas de gran pendiente en zonas vecinas

a la costa. Varias casas quedaron afectadas por deslizamientos de una parte del talud. Estos deslizamientos se produjeron probablemente por ruptura del talud de tipo circular.

Se observaron casos de taludes formados por corte en laderas de cerros que en condiciones estáticas son estables y que fallaron a causa del sismo. Casos de este tipo se observaron por ejemplo en Villa Dulce, que es una población construida en la ladera del cerro entre Viña del Mar y Quilpué y en la Población Villa Berlín de Recreo Alto en Viña del Mar. En este último caso el terreno era de maicillo, que es el nombre que corrientemente se le da a la roca granítica fuertemente meteorizada; aquí, sin embargo, los derrumbes fueron muy pequeños.

Algunos de estos taludes estaban protegidos por muros de mampostería, que en condiciones estáticas habían probado ser suficientes, pero que resultaron inadecuados durante un sismo.

III. DAÑOS EN OBRAS DE INGENIERIA

Hubo numerosos casos de daños en obras de ingeniería producidos por rodados de rocas y deslizamiento y derrumbes de tierras. Los rodados causaron interrupciones en el acueducto de Las Vegas a Valparaíso, en varios caminos y en vías férreas, siendo principalmente afectada la vía férrea de Santiago a Valparaíso, que es una de las de mayor densidad de tráfico del país, la que quedó interrumpida durante dos o tres días.

Deslizamientos y derrumbes de tierras que afectaron obras de ingeniería, en especial caminos, hubo numerosos, pero de pequeña magnitud y particularmente en laderas arenosas adyacentes a las obras.

Los terraplenes de acceso a los puentes y túneles sufrieron los daños ya observados en otros terremotos, es decir, se produjeron apreciables asentamientos en algunos de ellos y derrumbes parciales, produciendo las consiguientes dificultades en el tránsito de vehículos.

Seis tranques de relaves correspondientes a las minas de El Cobre, Los Maquis, Cerro Negro, Bellavista, La Africana y El Cerrado, ubicados en los cerros de la zona, fallaron a consecuencia del sismo. El más catastrófico de estos casos correspondió al de la mina El Cobre, que como dijimos anteriormente ocasionó 222 muertes, ya que aguas abajo del tranque se encontraba ubicada una población habitada principalmente por mineros de la Compañía.

Los tranques de relave están formados por residuos del proceso de concentración de los minerales de cobre sin ninguna estructura de tierra o de hormigón que asegure su estabilidad y se construyen con la parte más gruesa del material distribuido por medio de canaletas o tuberías y separada por medio de agujeros practicados en el fondo de ellas, formando una represa con dicho material. El agua y el material fino en suspensión se depositan detrás de este muro, formando una especie de laguna. En el caso del mineral El Cobre y varios otros, estos tranques se construyeron transversalmente en quebradas de fuerte pendiente longitudinal, debido a lo cual el desborde del material de relave alcanzó gran extensión con efectos devastadores para las viviendas situadas aguas abajo.

En la construcción de estos tranques no han participado ingenieros civiles y aparentemente jamás se ha estudiado la estabilidad antisísmica de ellos.

Entre las obras importantes de ingeniería civil nos referiremos particularmente al puente construido sobre el estero Pullalli, en la Carretera Panamericana Norte.

Se trata de un puente oblicuo de dos vías y siete tramos. Los cuatro primeros tramos, contando desde el extremo sur, son simplemente apoyados y en los otros tres tramos, de mayor luz, el puente está estructurado en forma de viga Gerber, con articulaciones en los tramos 5 y 7. Los apoyos intermedios están constituidos por cepas macizas de hormigón armado y los estribos son también de hormigón armado de la forma usual en estos puentes. La superestructura está formada por cuatro vigas longitudinales de acero de alma llena, a la cual están conectadas viguetas metálicas transversales que sirven de apoyo al pavimento de hormigón armado, el que no es colaborante.

El quinto tramo del puente deslizó transversalmente sobre la articulación de dicho tramo, girando sobre su apoyo sur y cayendo al lecho del estero. Este movimiento se evidenció por la deformación de la plancha de apoyo de la articulación. Si bien es cierto que existía un dispositivo constituido por barras redondas de acero para asegurar la estabilidad sísmica, éste demostró ser ineficaz en este caso.

En un puente de hormigón armado sobre la vía férrea de Santiago a Valparaíso, cercano a la Estación de Llay Llay, se observaron daños en el intradós de uno de los arcos.

Otra obra de ingeniería civil de cierta importancia de la zona que resultó con algunos daños, es el estanque elevado para agua potable de la Población Achupallas entre Viña del Mar y Quilpué. Este estanque es de hormigón armado, montado sobre un manto cilíndrico de hormigón armado. La directriz de este cilindro es una curva en forma de senoide arrollada sobre un círculo. Los daños consistieron especialmente en una grieta horizontal del manto cilíndrico, formada a la altura de una junta de construcción. De esta grieta horizontal parten también grietas diagonales.

IV. COMENTARIOS

La observación de los daños que hemos encontrado en diversas estructuras después del sismo del 28 de marzo del presente año y que confirma la experiencia anterior, nos sugiere comentarios sobre los siguientes puntos:

1. Juntas de expansión. Separación entre edificios.

Los numerosos casos de daños por impacto entre edificios contiguos y especialmente por impacto entre dos cuerpos de un mismo edificio, separados por una junta de expansión, nos recuerdan que diversas normas extranjeras traen disposiciones respecto a la separación mínima que debe dejarse en estos casos, a fin de permitir la libre oscilación del edificio sin dañar al vecino. Así la norma SEAOC de 1960 dice que los edificios deben separarse en una distancia suficiente para evitar su contacto, debido a las deformaciones provenientes de fuerzas sísmicas o de viento. El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de México, en proceso de legalización, es más explícito. Dice:

“15. Separación de colindancias y en juntas de dilatación. Toda nueva construcción debe separarse en sus linderos con los predios vecinos un mínimo de 3 cm., pero no menos que $x + 0,006 H$ en las zonas de alta compresibilidad ni menos que $x + 0,004 H$ en los de baja. En estas expresiones x representa el máximo desplazamiento lateral por sismo calculado para la altura H sobre el nivel de baqueta. Cuando se use el método simplificado de análisis, se tomará $x = 0,002 H$.

El paño exterior de cada muro de carga en linderos estará en un mismo plano vertical. En juntas de dilatación rige el mismo criterio que con respecto a linderos de colindancia a menos que se tomen precauciones especiales para evitar daños por choques”.

La nueva Norma Chilena Inditecnor 63-9, actualmente en estudio, también trae disposiciones al respecto. Dice que debería dejarse entre las estructuras de cuerpos adyacentes una separación no menor que $0,002 H$, con un mínimo de 5 cm. De desear sería que los ingenieros proyectistas se anticiparan a la publicación de esta norma, incorporando en sus nuevos proyectos disposiciones como las que hemos señalado.

2. Estanques de agua sobre edificios.

Los estanques de agua potable construidos sobre el techo de los edificios se encuentran sometidos a un movimiento horizontal diferente al que tendrían si el estanque estuviese colocado directamente sobre el suelo. La teoría dinámica muestra que, en general, el movimiento se amplifica considerablemente a nivel del piso superior de los edificios. Es por eso que en países sísmicos como Japón se suele evitar este tipo de construcción, por el peligro que representa para los habitantes de los pisos superiores y para la estabilidad general de la estructura.

El reglamento mexicano exige que se calculen los estanques para una aceleración igual al doble de la que correspondería al piso en que está ubicado al aplicar una distribución lineal de aceleraciones horizontales con valor nulo en la base de la estructura, siempre que este valor no resulte menor que $0,15 g$.

De acuerdo con esta recomendación, los estanques que resultaron dañados en el sismo pasado debieron haberse calculado con un coeficiente sísmico de $0,32$.

El proyecto de norma Inditecnor 63-9 exigiría, para estanque ubicados sobre el piso superior del edificio, un coeficiente sísmico de $0,15 \sqrt{N}$, siendo N el número de pisos del edificio. Como los edificios cuyos estanques resultaron dañados tenían entre 4 y 6 pisos, esto daría un coeficiente sísmico entre $0,30$ y $0,37$, respectivamente.

De seguirse construyendo este tipo de estanques, en el futuro sería de recomendar que su cálculo se hiciera de acuerdo a la teoría dinámica de estructuras o por lo menos con un coeficiente como el recomendado por las normas mencionadas, lo que representaría un mínimo que es posible que en el sismo que comentamos haya sido sobrepasado.

3. Elementos secundarios.

El Reglamento del Distrito Federal de México exige que los parapetos, pretilas, anuncios, ornamentos, etc., se calculen con el mismo criterio que los estanques elevados sobre edificios, lo que equivale a un coeficiente sísmico igual a cuatro veces el coeficiente sísmico basal. El proyecto de norma chilena 63-9, da un coeficiente sísmico de $0,50$.

La Norma californiana SEAOC recomienda diseñar estos elementos para resistir aceleraciones tan altas como $1,0 g$.

La razón de recomendar coeficientes sísmicos tan altos es que la experiencia ha demostrado que estos elementos son muy peligrosos y han sido causa de frecuentes accidentes fatales. Además, algunos de estos elementos suelen ser de períodos

propios cortos y escasa amortiguación, por lo que se ven afectados por la parte más severa del espectro de respuesta. Además, igual que en el caso de los estanques elevados, están sometidos a una amplificación del movimiento sísmico por el efecto de chicoteo. Finalmente, el costo adicional de diseñar estos elementos con un coeficiente sísmico alto es generalmente muy pequeño en comparación con el costo total de la estructura.

4. Estructuras metálicas livianas.

Las construcciones metálicas hechas con barras redondas de acero soldadas entre sí, formando reticulados, están ampliamente difundidas en el país y se usan ventajosamente, desde el punto de vista económico, frente a otras soluciones tradicionales. Sin embargo, su seguridad es discutible por emplear material que no tiene garantías de soldabilidad; por tener cordones de soldadura que no alcanzan a tener las características mínimas de un filete, ya que la unión se verifica entre dos superficies cilíndricas en contacto y con una longitud muy pequeña; y por tener barras de celosía curvadas en sus extremos, lo que unido a la circunstancia corriente de que las direcciones de las barras no concurren siempre a un nudo hace trabajar a las barras en un régimen de compresión excéntrica. Todas estas circunstancias hacen que su seguridad sea inferior a la supuesta en el cálculo, aun cuando en la práctica se han comportado en forma más bien satisfactoria para las cargas normales a que están sometidas.

Galpones metálicos de esta clase, que no están destinados a su uso habitual por personas, podrían tener factores de seguridad inferiores a los normales y aun que en algunos casos llegaran al colapso durante sismos destructivos seguirán siendo probablemente una solución económica. No nos pronunciamos aquí sobre si es procedente o no llegar a una prohibición del sistema, pero estimamos en todo caso necesaria una investigación más cuidadosa del grado de seguridad que éste tiene.

Hay un defecto adicional que es muy corriente y particularmente grave: la entrega de las reacciones verticales de costaneras o vigas en puntos de las cuerdas superiores de vigas maestras, marcos o arcos que no corresponden a los nudos de estos últimos elementos, produciéndose así la flexión local de estas cuerdas, las que estando de ordinario sometidas simultáneamente a compresiones fuertes pueden fallar para cargas muy inferiores a las de diseño. Esto puede ser corregido prohibiendo que personas no calificadas con el título de ingeniero civil se dediquen a proyectar esta clase de estructuras. Es posible que por razones prácticas no se pueda evitar la descarga de costaneras en puntos intermedios de las cuerdas de elementos principales, pero en todo caso ese efecto debería tenerse en cuenta en el cálculo.

5. Detalles en hormigón armado.

El terremoto que comentamos nos ha mostrado, una vez más, el serio riesgo que representan las juntas de concretadura mal ejecutadas.

Para que una estructura pueda sobrevivir a los efectos de un gran terremoto, tiene que poder absorber por energía elástica y anelástica una cantidad mayor de energía que la que el terremoto le comunica a la estructura. En este balance energético el término de energía anelástica puede ser varias veces superior al de la

energía elástica. Si en el flujo de las fuerzas existe un eslabón manifiestamente débil, tendría que absorber una cantidad considerable de energía; en el hecho, una parte apreciable de la energía de la deformación anelástica. Es eso precisamente lo que ocurre con una junta de concretadura mal ejecutada.

Este tipo de fallas se produce tan a menudo que sería de desear que en todas las obras de importancia se ubicaran en los planos las juntas de concretadura y, reconociendo que son planos débiles, se especificara armaduras especiales de refuerzo en dicha zona, además de utilizar las mejores técnicas constructivas.

Es interesante notar que con una técnica cuidadosa en la pega entre hormigones nuevos y viejos, se puede lograr solamente un 50% de la eficiencia correspondiente a un hormigonado continuo.

Estos conceptos energéticos que se han explicado en relación a las juntas, podrían extenderse a cualquier otro detalle del hormigón armado. Cualquier deficiencia en ellos, como defectos en empalmes, ganchos, estribos insuficientes, etc., pueden reducir apreciablemente la ductibilidad de la estructura, con lo cual se reduce el coeficiente de seguridad.

6. Construcciones de albañilería.

Como se ha expresado en el texto, este terremoto ocasionó serios daños en las albañilerías: muros resistentes, particiones interiores, y muros divisorios.

En muchos casos hubo evidentes defectos de diseño, como, por ejemplo, excesiva torsión en planta o falta de amarra en el plano de la techumbre. En otros casos, se han producido falsas apreciaciones de las rigideces de la estructura por no considerar la rigidez de las albañilerías, lo que ha significado que algunos elementos han debido soportar esfuerzos superiores a los previstos.

Muy frecuentes fueron también claras violaciones a las reglas de una buena construcción: grifadura de armaduras en pilares, falta de enlace de las barras, concentración de ganchos en zonas reducidas, materiales de mala calidad, etc.

Dejando de lado estos defectos que en un buen proyecto y construcción no deben producirse, es interesante observar grietas en muros que cumplían con las disposiciones de la norma.

Esto revela entre otras cosas que las albañilerías, tal como son tratadas en nuestro país, son elementos vulnerables y que por ejemplo para evitar en absoluto las grietas deberían flanquearse con cadenas de contorno de hormigón armado todas las aberturas.

7. Construcciones de madera.

Si bien la experiencia del sismo del 28 de marzo de 1965 no acusa daños graves en construcciones de madera, lo observado en el terremoto de 1960 en Valdivia nos mueve a recordar que es esencial un buen arriostramiento de los planos verticales de las tabiquerías y el correcto anclaje de ellas entre sí, con los entrepisos o techos y con las fundaciones. El Committee on Building Inspection, del Earthquake Engineering Research Institute, llama la atención a estos puntos y en especial al anclaje de los pies derechos que forman el borde de un elemento plano vertical y que deben poder recibir de la fundación una reacción que equilibre la tendencia a volcamiento durante un movimiento sísmico. La práctica japonesa, revisada especialmente para los efectos de sismos, hace recomendaciones análogas

y prescribe el uso de abrazaderas metálicas apernadas para asegurar dichas conexiones. La práctica chilena deja mucho que desear en estos aspectos. Es necesario que en los proyectos de estructuras de madera se detallen muy claramente estas conexiones y que no se permita su improvisación en la obra.

8. Viviendas económicas.

En general, este terremoto puso en evidencia que deben tomarse muchas precauciones en las viviendas económicas. La reducción y supresión de ciertos elementos de refuerzo reduce el coeficiente de seguridad y hace la estructura más vulnerable. Esto implica que estas viviendas deben ser construidas con una precisión y rigurosidad muy extremada, a fin de que la buena y alta calidad de los pocos elementos resistentes sea capaz de afrontar con éxito la sollicitación sísmica.

Los daños en estas estructuras son espectaculares, ya que afectan a extensas poblaciones y los daños que se producen son cuantiosos.

9. Puentes.

La experiencia en otros países muestra que en terremotos fuertes aparecen en los apoyos de las vigas de un puente fuerzas que son del orden del peso propio de éstas. Es necesario que el diseño consulte dispositivos que eviten que las vigas salten sobre su apoyo o se desplacen lateralmente y que impidan la salida de los rodillos en el caso de apoyos deslizantes.

FIGURAS

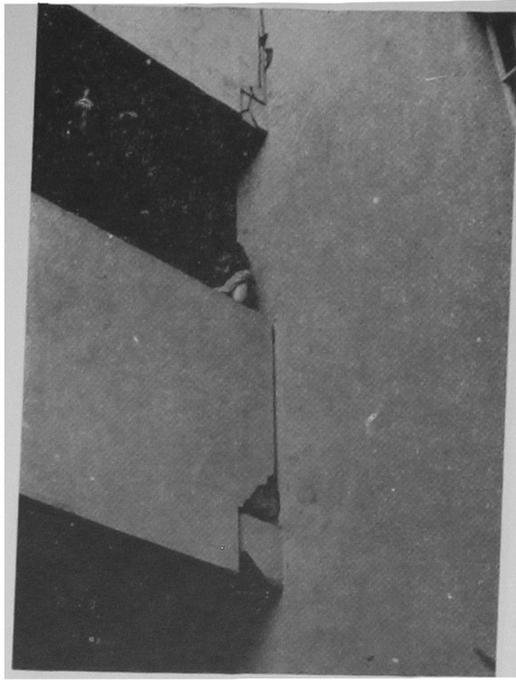


Figura 3. Daños en juntas de dos bloques de un edificio de departamentos, Recreo Alto, Valparaíso



Figura 4. Daños en junta, Limonar, Viña del Mar

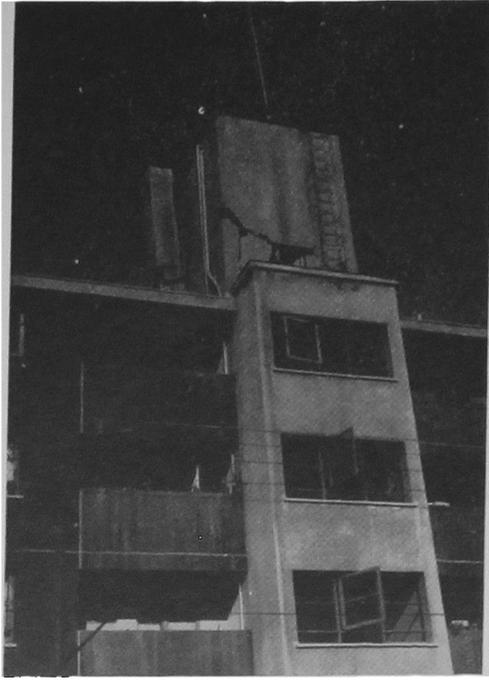


Figura 5. Estanque sobre muros de albañilería, Quillota

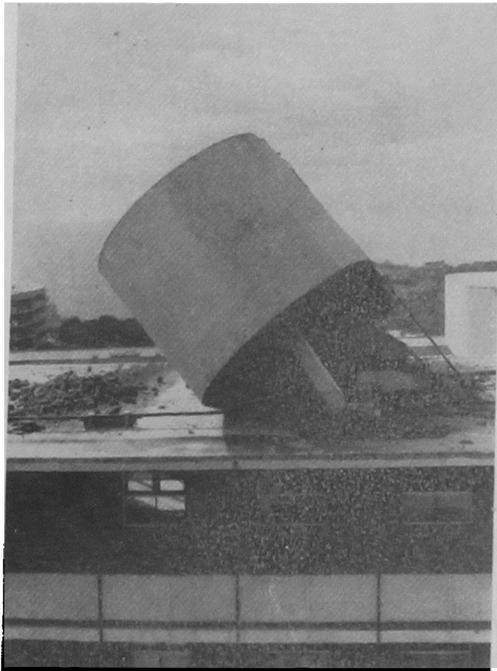


Figura 6. Estanque sobre marcos de hormigón armado, Recreo Alto, Valparaíso



Figura 7. Estanque dañado sobre otro edificio de la misma población



Figura 8. Otro estanque del mismo tipo, dañado en una junta de hormigonado



Figura 9. Estanques sobre edificios en Población Juan Antonio Ríos, Santiago, sobre pilares de hormigón armado



Figura 10. Detalle de uno de esos estanques. Las barras interiores están tomadas con estribos, pero las exteriores no los llevan

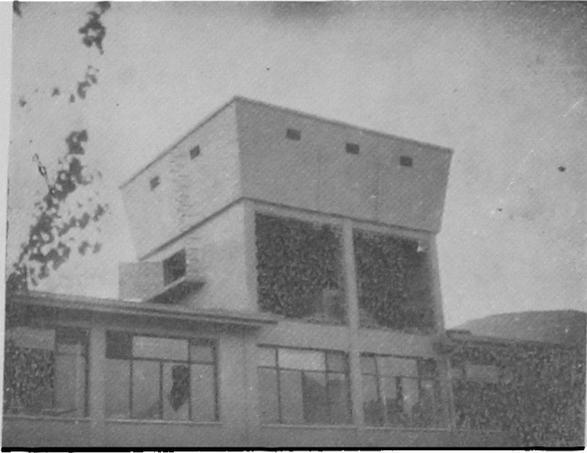


Figura 11. Tabique ornamental destruido, Hospital de Llay-Llay



Figura 12. Daños típicos en tejas, Estación de Quintero



Figura 13. Estanque elevado de acero, intacto - Hospital nuevo de La Ligua

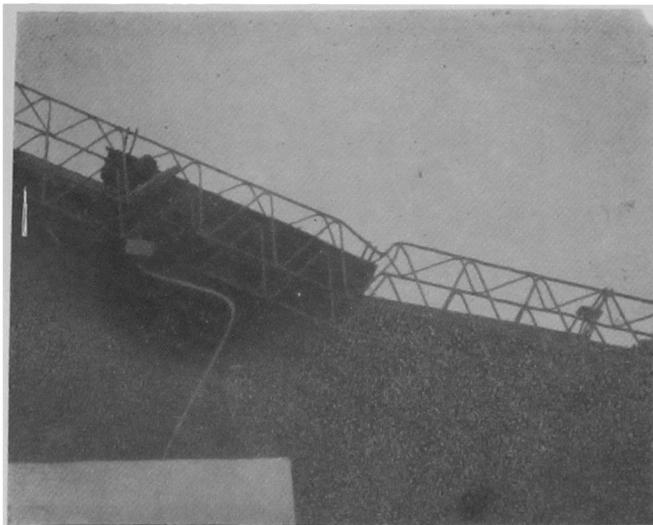


Figura 14. Daños en un galpón construido con barras redondas soldadas. La Galera



Figura 15. Daños en el relleno, torres de subida al coro, Iglesia de Nogales

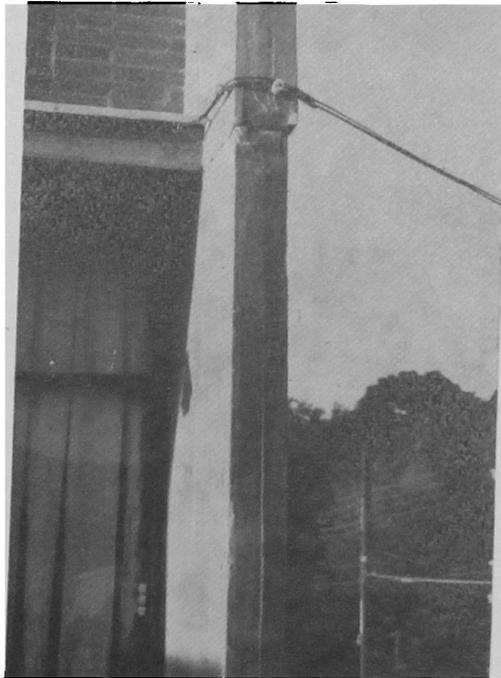


Figura 16. Daños en junta de hormigonado, Hostería de San Felipe

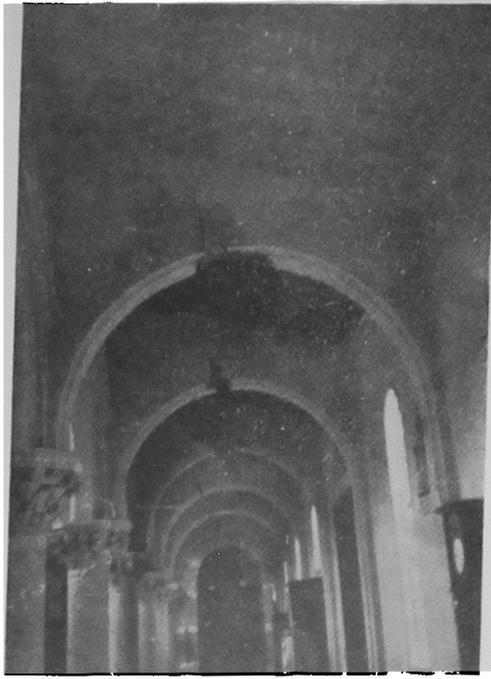


Figura 17. Daños en el intradós de arcos de hormigón armado, Iglesia Parroquial de Quilpué

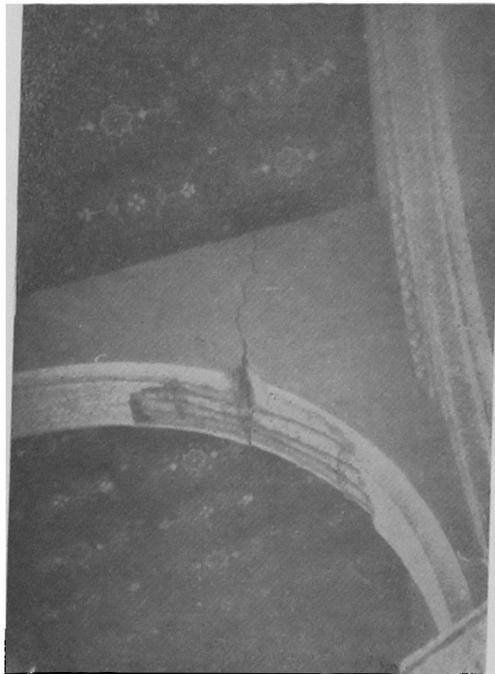


Figura 18. Detalle de los mismos

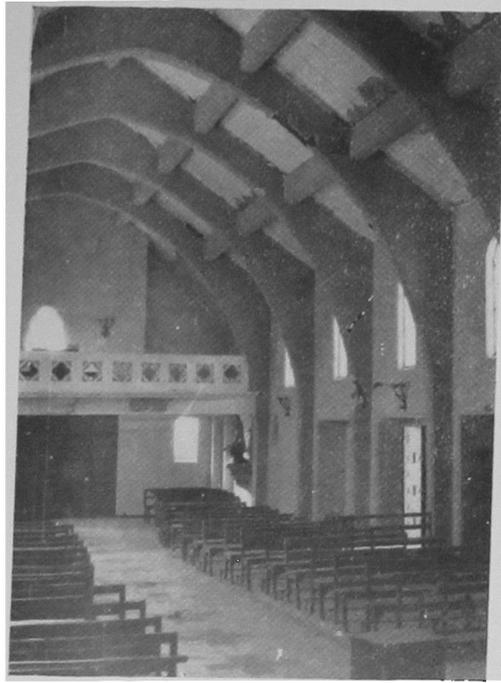


Figura 19. Daños en dos arcos, Iglesia de Cabildo

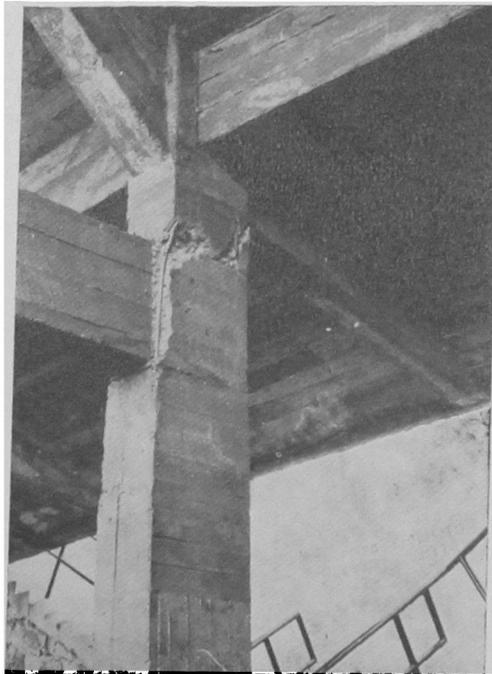


Figura 20. Daños en un nudo de marco rígido, Estadio Sauzalito, Viña del Mar. Nótese la ausencia de estribos



Figura 21. Daños en un galpón industrial con bóvedas cáscaras, Valparaíso

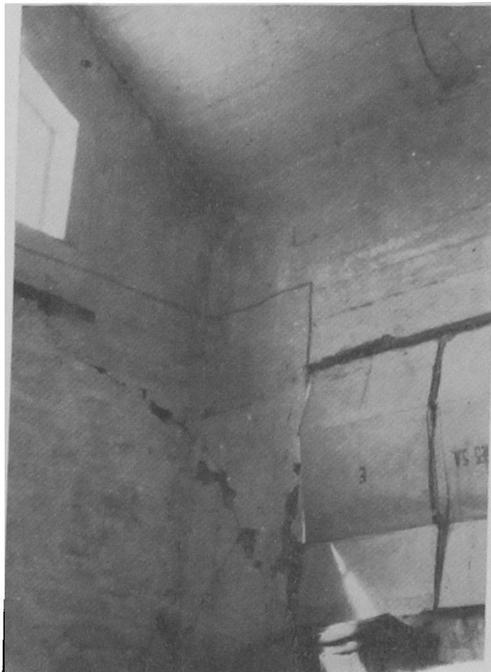


Figura 22. Detalle de daños en los pilares del mismo galpón



Figura 23. Edificio Acapulco, Viña del Mar

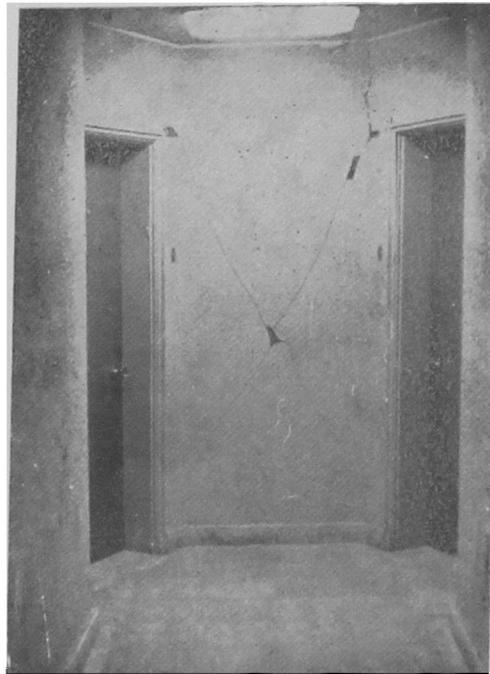


Figura 24. Daños en tabiques del mismo edificio



Figura 25. Daños en muros exteriores en albañilería de bloques de hormigón, Población Pedro Aguirre Cerda, Los Andes

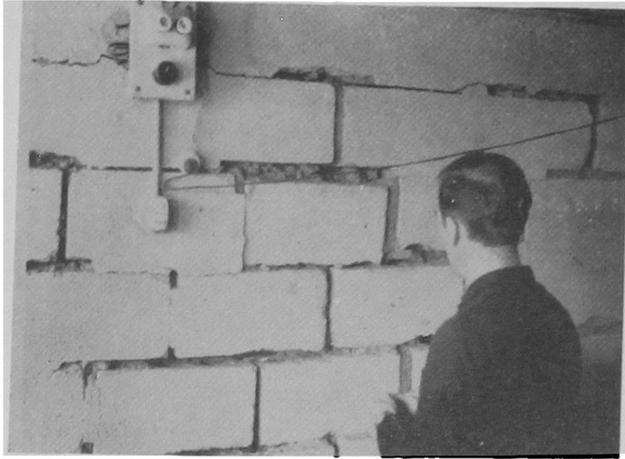


Figura 26. Daños en tabiques interiores de la misma Población

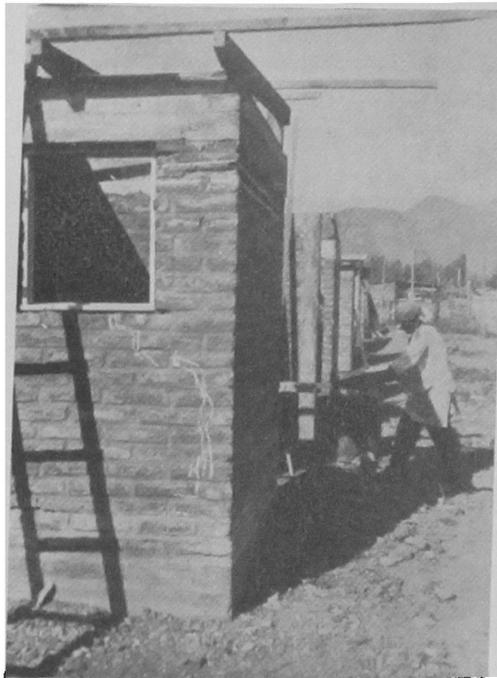


Figura 27. Daños en albañilerías de ladrillos con cadenas de hormigón armado y sin pilares, Los Andes



Figura 28. Albañilerías de ladrillos con cadenas de hormigón armado y sin pilares, intactas, La Ligua

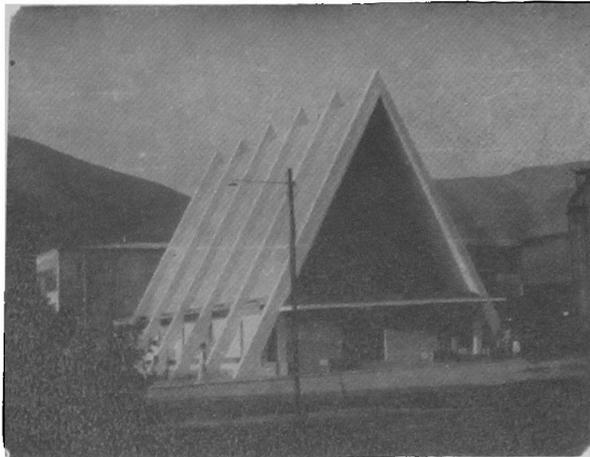


Figura 29. Iglesia de Llay-Llav. Daños en muros laterales de albañilería y en pilares verticales laterales. Gran destrucción de vidrios en fachada



Figura 30. Detalle en daños en la parte inferior de planos verticales, fachada lateral de la misma iglesia



Figura 31. Tabiquerías de madera con relleno de hormigón, intactas, La Ligua



Figura 32. Desprendimiento de relleno de adobes en tabiquería, Llay-Llay



Figura 33. Edificación de adobe en la parte de Illapel construida sobre faldeos, con daños menores



Figura 34. Destrucción de casas de adobe, La Ligua



Figura 35. Casa de quinchas y barro con sobrecimientos de piedra y barro, Salamanca. Daños menores en sobrecimientos



Figura 36. Albañilerías de ladrillo sin cadenas ni pilares, Panquehue



Figura 37. Daños por asentamiento de fundaciones, Papudo

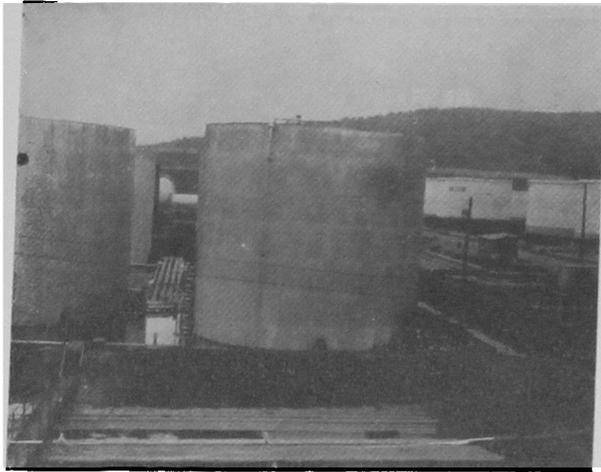


Figura 38. Fallas por corte en arenas saturadas, Refinería de Petróleo de Concón.



Figura 39. Cráteres de arena en el mismo lugar



Figura 40. Deslizamientos en dunas de Reñaca



Figura 41. Detalle de daños en un nudo de hormigón armado en la casa mostrada en figura 4

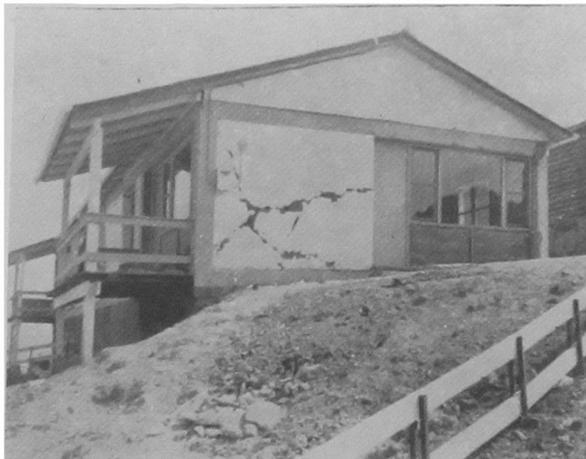


Figura 42. Falla de taludes formados por corte, Villa Dulce, entre Viña del Mar y Quilpué



Figura 43. Derrumbes en camino trente a Playa Negra, Concón



Figura 44. Asentamiento de un terraplén, camino de Concón a Maitencillo



Figura 45. Falla del tranque de relaves de Los Maquis, cerca de Cabildo. La mancha blanca corresponde a la parte del muro que no deslizó

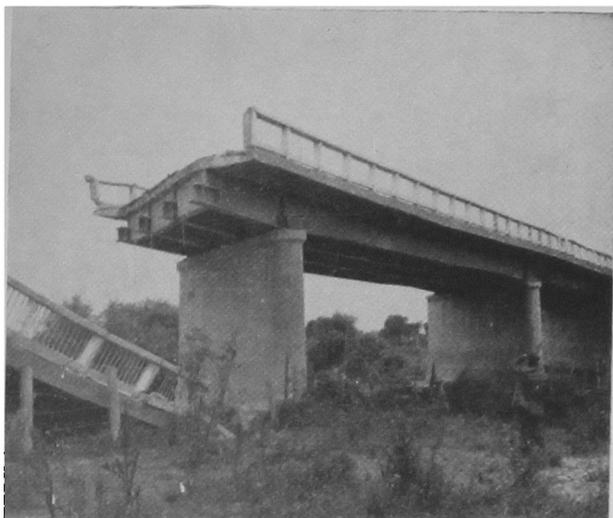


Figura 46. Puente sobre el estero Pullalli, carretera Panamericana. Extremo norte del mismo

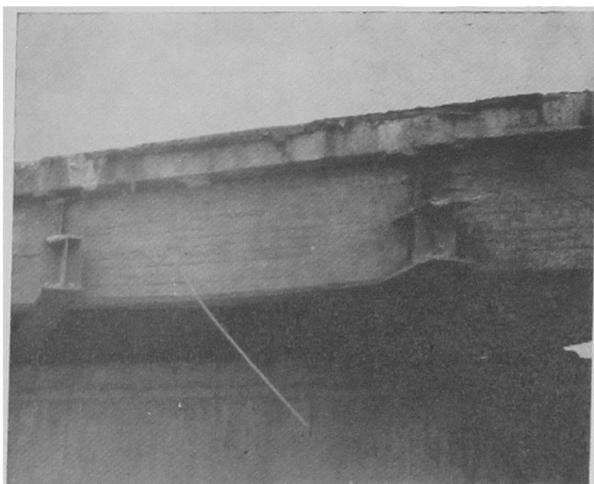


Figura 47. Detalle del mismo



Figura 48. Daños en el intradós de un arco de hormigón armado, paso superior sobre vía férrea, Santiago a Valparaíso, en Llay-Llay

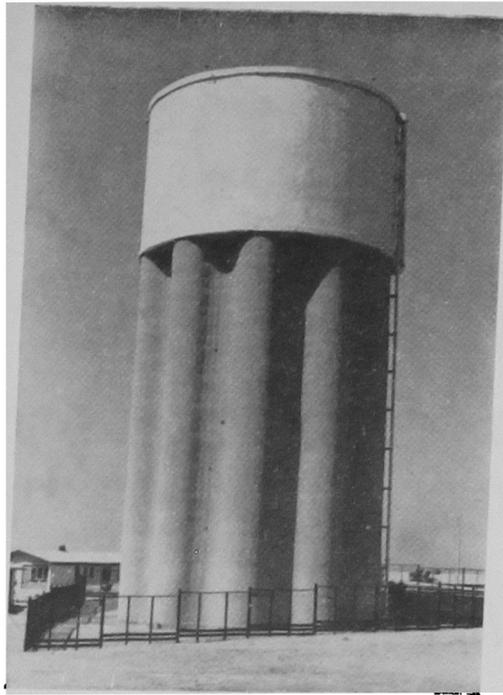


Figura 49. Estanque elevado, Población Achupallas, entre Viña del Mar y Quilpué

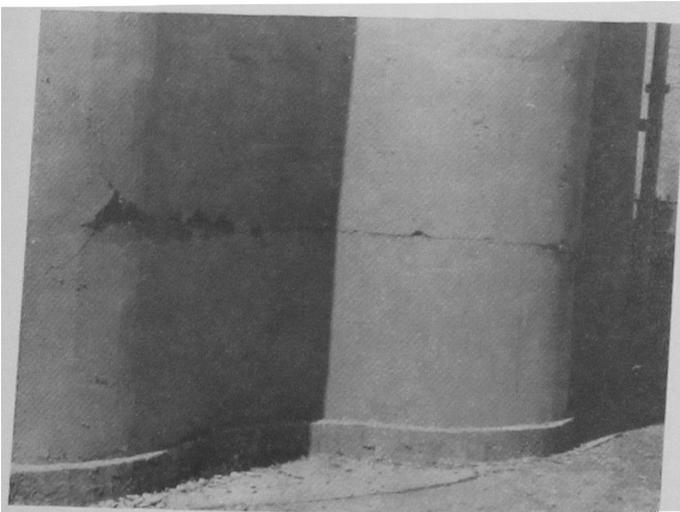


Figura 50. Daños en una junta de construcción del mismo estanque