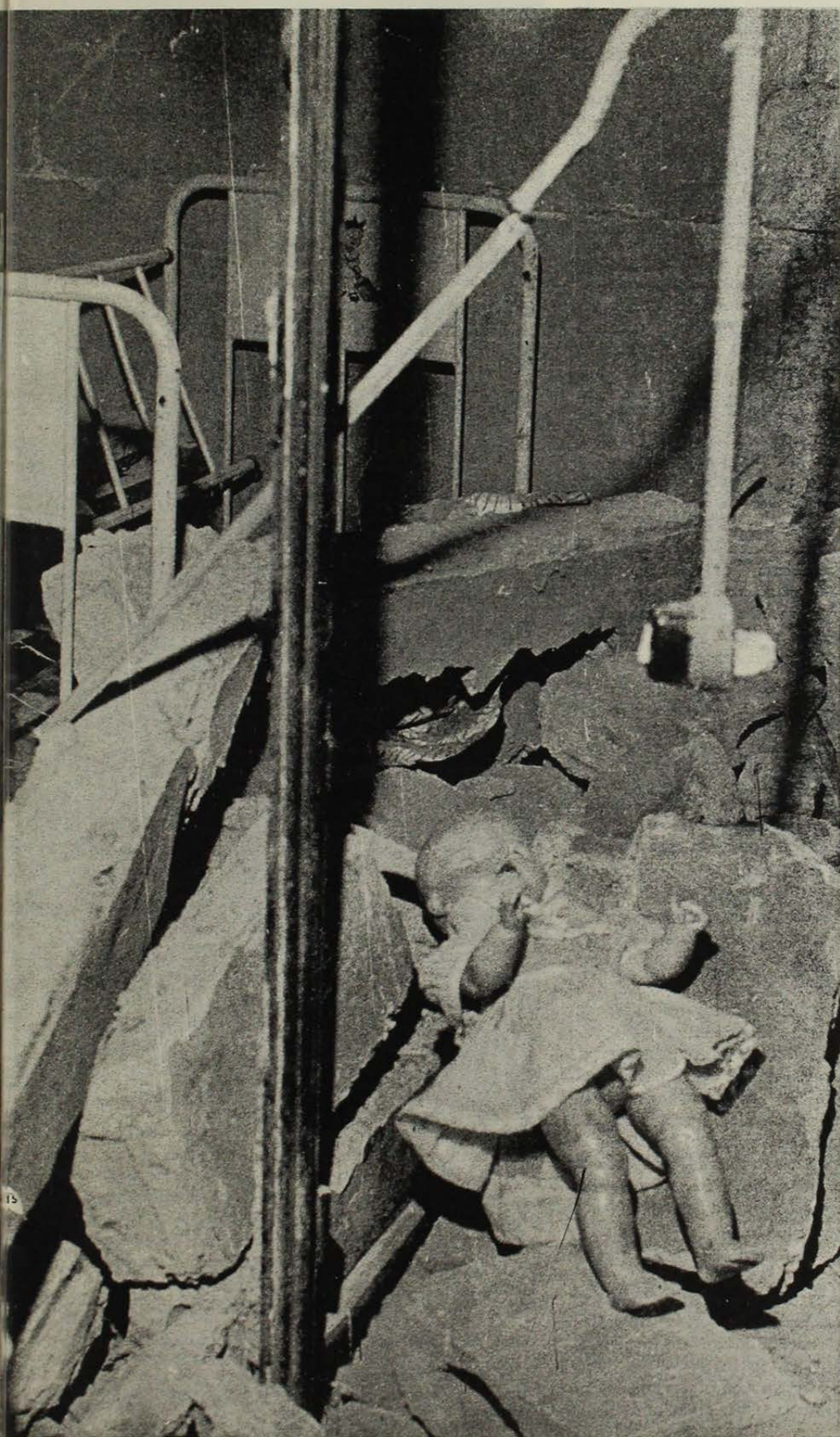


el terremoto de tocopilla

terior de una de las casas de la Población Sotomayor. Se aprecia la destrucción total de las albañilerías de bloques que afectó a todas las viviendas. (Foto G. Pueller).



LOS TERREMOTOS EN CHILE, ¿SON UNA CONTINGENCIA? EN TOCOPILLA HUBO UN TEMBLOR FUERTE.

¿POR QUE SE PRODUJO TANTO DAÑO?

LO QUE SABEMOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS TERRENOS.

EL DISEÑO ESTRUCTURAL Y LAS NORMAS ACTUALES: ¿PUEDEN CAUTELAR LA VIDA? FALLAS ENDEMICAS DE NUESTROS HABITOS CONSTRUCTIVOS.

UNA ETICA PROFESIONAL FRENTE AL DESASTRE.

Al finalizar nuestra información sobre el terremoto del 20 de diciembre de 1967, dijimos: los terremotos en Chile no tienen en absoluto carácter de contingencia. Este aserto, que más parece una verdad de Perogrullo, tiene más trascendencia que la que a primera vista pudiera dársele. El terremoto de Tocopilla tuvo en su epicentro grado VII de la Escala Mercalli de intensidad, la que se determina por la apreciación de los efectos más fácilmente observables de un sismo (1). La definición de este grado es la siguiente: "VII. Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal diseñadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estuco, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Las chimeneas débiles se quiebran al nivel de la techumbre. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia. Los terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan las canales de hormigón para riego. Tañen todas las campanas".

1 La Escala Mercalli (modificada), que mide la intensidad de los terremotos en grados del I al XII, es de aceptación internacional y fue adoptada por Chile en agosto de 1961 por la norma Inditecnor 2-1 ch.

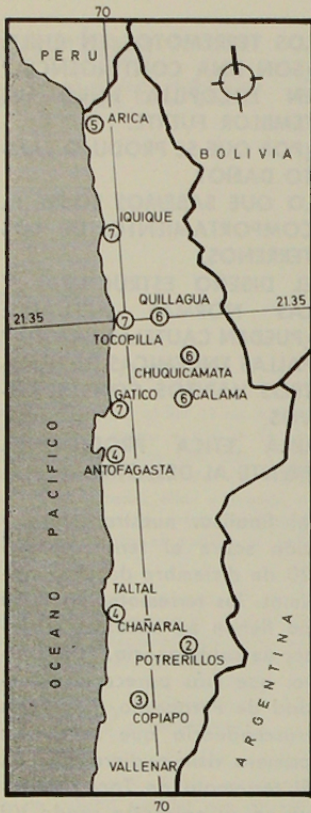


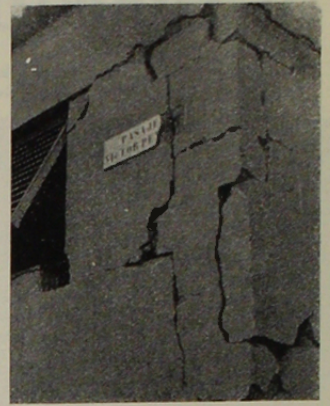
Gráfico de la intensidad del sismo en diversas ciudades y localidades de la zona norte, configurado con informaciones proporcionadas por el Instituto de Geodesia y Sismología de la Universidad de Chile y estimaciones de Carabineros.

En la escala Richter de magnitud, el valor calculado fue de 6,3 (2). Como antecedente comparativo tenemos los datos del terremoto de La Ligua de marzo de 1967, el que tuvo grado X de la Escala Mercalli para algunos lugares vecinos a La Ligua y una magnitud 7,25 de la Escala Richter.

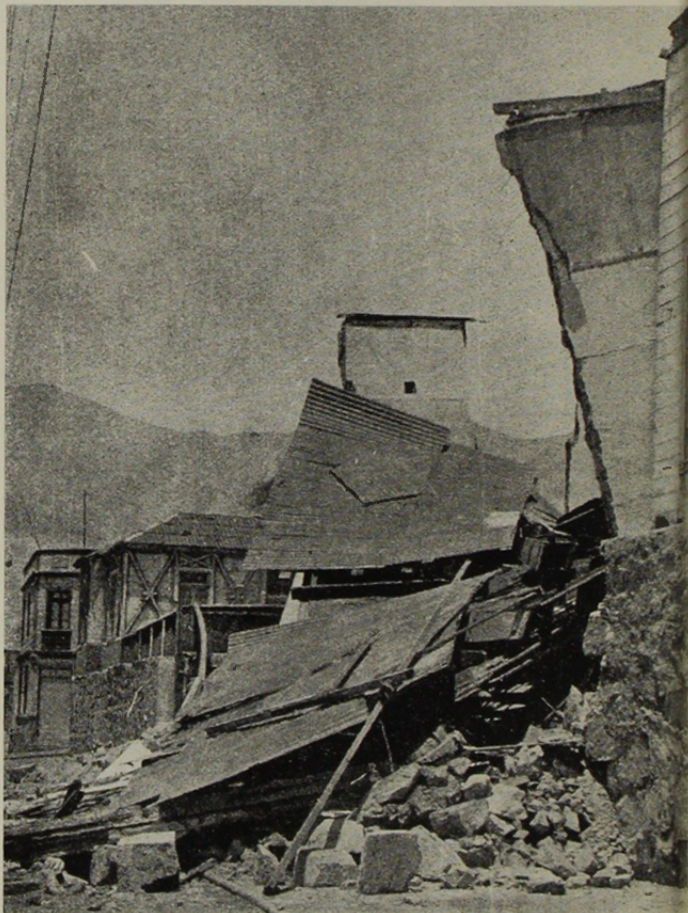
De los antecedentes expresados se deduce que el terremoto de Tocopilla no fué más que un temblor fuerte. Sin embargo sus efectos aparecen graves. Resulta explicable que en pueblos como Quillagua, la destrucción haya alcanzado niveles altos, pues sus construcciones son muy antiguas y en su mayoría de barro. Lo mismo es válido para los sectores más antiguos de los centros poblados de Cobija y Tocopilla. Pero, ¿cómo explicarse la destrucción de dos poblaciones de la Corporación de la Vivienda? La Población Rafael Sotomayor de 36 casas, construida en 1962 que resulta irrecuperablemente dañada, y la Santiago Amengual construida en 1964,



3 Población Sotomayor. Los muros estructurales de bloques estallaron. Los sobrecimientos sin refuerzos, no fueron capaces de contener la presión de los rellenos. (Foto G. Pueller).



4 Población Sotomayor. Detalle de la esquina de una vivienda. La albañilería desintegrada muestra con claridad la falla de los morteros de unión. (Foto G. Pueller).



2 Grave destrucción en construcciones antiguas y en mal estado.

que presenta daños graves en la mayoría de sus 24 viviendas. ¿Cómo explicarse que el nuevo edificio de la Compañía de Teléfonos sufra grietas y daños superestructurales de consideración? ¿que el Liceo Fiscal de reciente construcción tenga derrumbes de los muros estructurales de albañilería?

Aquí sólo caben las siguientes explicaciones:

1. que el terreno de fundación de la región en general, sea malo (arenoso, de aluvión, etc.) y que haya multiplicado los efectos del movimiento terrestre;
2. que hayan existido errores de diseño estructural, o
3. que la construcción haya sido deficiente.

El terreno y los riesgos geográficos.

Las fallas de la estructura tectónicas parecen ser la causa fundamental de los terremotos. Las modificaciones de la estructura de la corteza terrestre, se manifiestan a veces como bruscas sacudidas causadas por la liberación de estados de tensión internos. Estos movimientos de recuperación del equilibrio, son fenómenos satélites de las modificaciones estructurales mismas y se manifiestan, además de las vibraciones ondulatorias, por el apareamiento de fallas o fracturas de la corteza terrestre. La proximidad de una falla no implica con necesidad un mayor riesgo de sismo. Puede producirse una nueva falla en cualquier lugar en que existan tensiones tectónicas.

Podríamos decir que en Chile no hay lugar habitado que no haya sido afectado por un sismo.

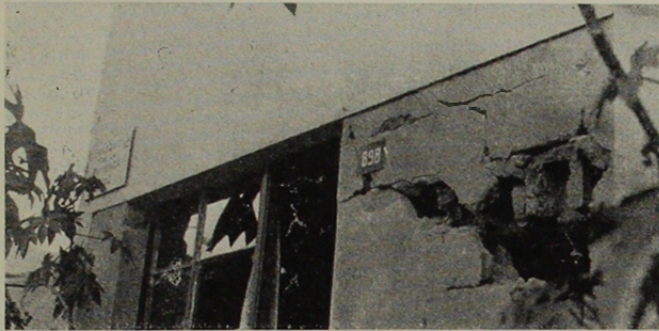
El foco o hipocentro de un sismo se encuentra corrientemente a no más de 100 km. de profundidad en la corteza terrestre. (El hipocentro del de Tocopilla tuvo 33 km. de prof.) Su proyección normal sobre la superficie de la tierra, se denomina epicentro y de allí se propagan las ondas superficiales. (Existen otros tipos de transmisiones que no mencionamos).

La intensidad del movimiento ondulatorio decrece en forma progresiva pudiendo trazarse líneas más o menos concéntricas con el epicentro, de los valores de igual intensidad (curvas isosistas). Pero esta propagación de energía sufre alteraciones o interferencias fundamentales, debido a la naturaleza del terreno del lugar. En zonas de terrenos de aluvión, playas y terrenos de rellenos artificiales no compactados,

2 Esta escala de medición instrumental y sus valores relativos aumentan en progresión logarítmica, lo que significa que la energía liberada en un sismo de magnitud 7 es diez veces mayor que la de uno de magnitud 6. Los terremotos más violentos registrados, han alcanzado magnitudes entre 8 y 8,5.



5 Población Santiago Amengual. Como éste, muchos paños de albañilería de bloques se destruyeron.



10 Otro ejemplo del resultado de las albañilerías de bloques de cemento.

la amplitud del movimiento terrestre es mayor que en terrenos rocosos. A veces este mayor valor, en movimientos de alta frecuencia, alcanza la relación de 1 a 8. Es posible entonces hacer una clasificación de los terrenos en cuanto a su factor de incremento del movimiento vibratorio, comparados con un terreno rocoso. Por otra parte las principales zonas de fallas, incluyen abundante material de disgregación que forma fajas de gran riesgo sísmico, aun cuando no sea la falla misma la causa del movimiento sísmico.

La Población Sotomayor de Tocopilla, que ya mencionamos, fué construída sobre un relleno artificial no compactado (antiguo basural). Este relleno seguía además la pendiente del faldeo, por lo que el trazado de las calles determinó terrazas que significaron sobrecimientos de hasta 70 cm. de altura sin armar. Por otra parte los cimientos tenían una altura promedio de 120 cm., no alcanzando terreno firme pues, como se comprobó a posteriori por los pozos de reconocimiento practicados, la altura del relleno era superior a los 300 cms. (Fotos 1. 3. 4). Esta es sin lugar a dudas, una de las razones de la destrucción masiva de esta población Corvi de 36 viviendas, la que tuvo que ser demolida en su totalidad, exceptuando el núcleo higiénico que se piensa aprovechar como caseta sanitaria para una vivienda provisoria. (Ver AUCA N.º 5 pág. 46). Pero no es ésta la única causa de destrucción. La población Amengual también de Corvi construída el 64, en terrenos de aparente mayor resistencia, sufrió daños de gran consideración que deben ser atribuidos parcialmente al uso del bloque de cemento y a la mala construcción de las albañilerías. (foto 5).

De vital importancia será entonces para un país de terremotos como el nuestro, el levantar un plano sismotectónico que permita prever los riesgos sísmicos no sólo en la escala regional, sino a escala urbana, determinando las zonas o sectores de los centros poblados aptos o no para ser construídos, o que deberán ser construídos con determinadas precauciones. No existe hasta el momento un documento de prevención tan importante. Los antecedentes geológicos has-

ta ahora elaborados, lo han sido más bien con miras a obtener recursos minerales. (Existen sin embargo algunos estudios aislados, con este carácter, como el de un sector de Viña del Mar, realizado a raíz del terremoto del 65 en La Ligua, pero no constituyen estudios sistemáticos).

Sabemos muy poco del subsuelo en la región de Tocopilla. Su característica de salinidad es tal vez una de las más conocidas, condición que lo hace esencialmente inestable. Estas sales estructuran el suelo dándole una aparente consistencia que se modifica por la acción del agua, tornándose fofo y arenoso. Ante fugas eventuales (alcantarillados mal realizados, filtraciones, etc.) se producen verdaderas transformaciones del subsuelo de fundación, que en algunas ocasiones han provocado derrumbes de las construcciones por asentamiento del terreno, sin necesidad de los movimientos sísmicos. Ejemplo de este tipo de daños es lo sucedido en la Población Salar del Carmen, Antofagasta, y en la Población Córdobes de la Base de la Fach, en Iquique. En esta última el asentamiento y la destrucción fueron de tal magnitud que la población debió ser abandonada.

El diseño estructural

Un problema importante que debemos plantear en primer lugar, es el **grado en que nos proponemos dar seguridad** ante el sismo. ¿Daremos seguridad absoluta contra los daños como trizaduras, desplomes menores o daños no estructurales?, o nos fijaremos la meta de evitar solamente el colapso de la estructura, para salvaguardar las vidas humanas. El grado de conocimiento teórico que se tiene sobre los problemas de la asismicidad de las estructuras por un lado y la magnitud de los terremotos que se han producido en Chile, por otro, nos permiten afirmar que podemos dar este grado de seguridad mínimo frente al colapso, o sea proteger las vidas humanas.

Esta meta parece ser razonable dentro de los límites económicos, ya que aparte de la seguridad de los habitantes, significa también dar seguridad de que la inversión realizada no será afectada por daños que la hagan irrecuperable. Debemos pues crear las condiciones para que esta posibilidad de seguridad teórica, se convierta en una realidad para el país.

Hay también otros aspectos de este tema que debemos mencionar. La necesidad de abordar el problema de las estructuras como un problema ligado a la generación de formas del espacio y no solamente como una mecánica de comprobación de secciones o prevención de torsiones, etc. La ciencia de la estructuración no es aun tema habitual de nuestras aulas universitarias, ni de centros de investigación. En cambio si lo es (y a veces con muy poco provecho) la compleja metodología del cálculo de los elementos estructurales.

"No es, ni con mucho el complejo y abstruso desarrollo matemático el que puede inducir al espíritu a imaginar la estructura ni guiar la mano a trazarla, sino el íntimo sentimiento de sus formas de trabajo . . ." (3).

No podemos quedar indiferentes ante la actitud superficial de un arquitecto que no prevee las deformaciones y trabajos de sus formas estructurales, como tampoco ante la actitud rutinaria de un calculista aferrado a tablas y que sólo reclama seguridades. Seguridad en contra de la economía, seguridad en contra de la imaginación. Debemos hacer una revisión de nuestra actitud en lo profundo. Mucho podríamos superar nuestro trabajo en lo creativo formal, en la racionalización y economía. Podríamos suprimir los dispendios; abandonar los temores a volar a nuevos escalones estructurales. No continuar siendo sumisos ante la frase admonitoria, pero en el fondo temerosa: "no, eso no lo podemos hacer aquí, Chile es un país de terremotos".

3 Emilio Torraja. "Razón y ser de los tipos estructurales". Ediciones Artes Gráficas Madrid. Pág. 13.

Pero pese a lo dicho, el trabajo de diseño que hasta ahora se realiza, no parece ser el responsable de estos fracasos. Podemos repetir con confianza "sabemos evitar el colapso de las estructuras".

Sin embargo en este campo hay criterios errados que deben enmendarse.

Por ejemplo la Ordenanza de Construcciones no hace distinción de normas en fundaciones de estructuras livianas de un piso de las de edificios en varios pisos. En proporción, la estructura liviana (generalmente la vivienda económica) tiene mayor cantidad de cimientos que la estructura de varios pisos. El movimiento terrestre transmite pues mayor cantidad de energía a las primeras, sufriendo en consecuencia un mayor efecto dinámico, en circunstancias que sus estructuras son generalmente frágiles y por desgracia las peor realizadas. Debe haber normas diferentes para fenómenos distintos. Habría que preguntarse ¿qué papel jugó este factor en el colapso de las fundaciones y estructuras de las viviendas de las poblaciones Sotomayor y Amengual? Seguramente importante y agravado por las condiciones del subsuelo en el caso de la población Sotomayor.

Es de esperar que la nueva ordenanza sísmica en estudio, dé solución entre otras, a las cuestiones planteadas.

Proceso constructivo

El proceso de la construcción no sólo debe atenerse a la correcta selección de los materiales en cuanto a calidad y cantidad y a su uso adecuado, sino fundamentalmente a los de unión de los diferentes elementos entre sí.

Hasta el hormigón armado, considerado habitualmente como un material monolítico, también presenta problemas de unio-

nes difíciles de resolver, que frecuentemente se convierten en puntos débiles de la estructura y que se acusan fácilmente en los movimientos sísmicos. La habitual y a veces indispensable interrupción de la faena de hormigonado, crea el problema de las juntas. El uso del hormigón a la vista ha determinado tal vez una mayor preocupación sobre este aspecto, pero en la mayoría de las obras no se detalla la correcta ubicación de las juntas y tampoco existen normas al respecto. Según pruebas de laboratorio efectuadas por IDIEM (4), una junta de hormigonado solamente lavada (lo que a veces ni siquiera se practica en obra), tiene el 33% de resistencia con respecto a una pieza monolítica; si la superficie es picada, esta adhesión aumenta al 50% y si es tratada por medio de chorro de arena a presión, se eleva al 90%. El segundo y tercer método no son prácticas habituales y por lo tanto la junta se transforma en un punto débil de posible fractura. Debiera pues ser objeto de una ubicación racional y reforzarse en caso necesario con armaduras adicionales (fotos 7 y 8).

Algo similar sucede con los empalmes de fierro de armaduras, los que generalmente se producen a una misma altura o posición relativa, por comodidad de obra o economía de material. Conocido es también el problema del empalme de esquina entre cadenas y pilares de 20 x 20 cm. en que la dimensión de los ganchos que penetran en el sólido común, no sobrepasa los 18 cm. dimensión de empotramiento muy inferior a la norma.

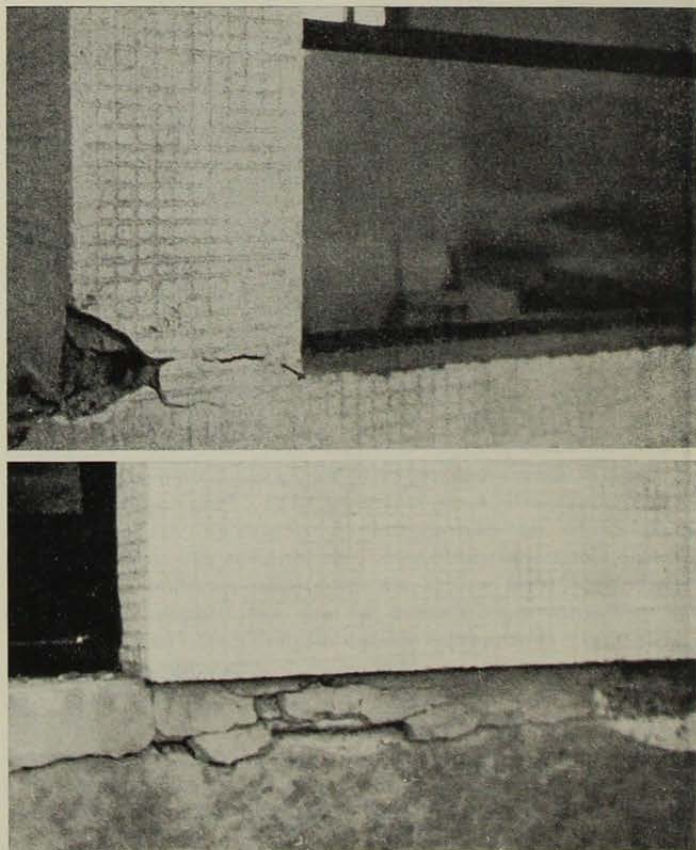
A estos, que pudieran suponerse errores por falta de instrucción de obra o de detalle de planos, se suman los descuidos de la obra misma: escasa penetración de los anclajes de pilares y vigas que llevan el material al agrietamiento o rotura, en solicitaciones inferiores a las que habría podido resistir; limpieza y tratamiento descuidado de elementos por

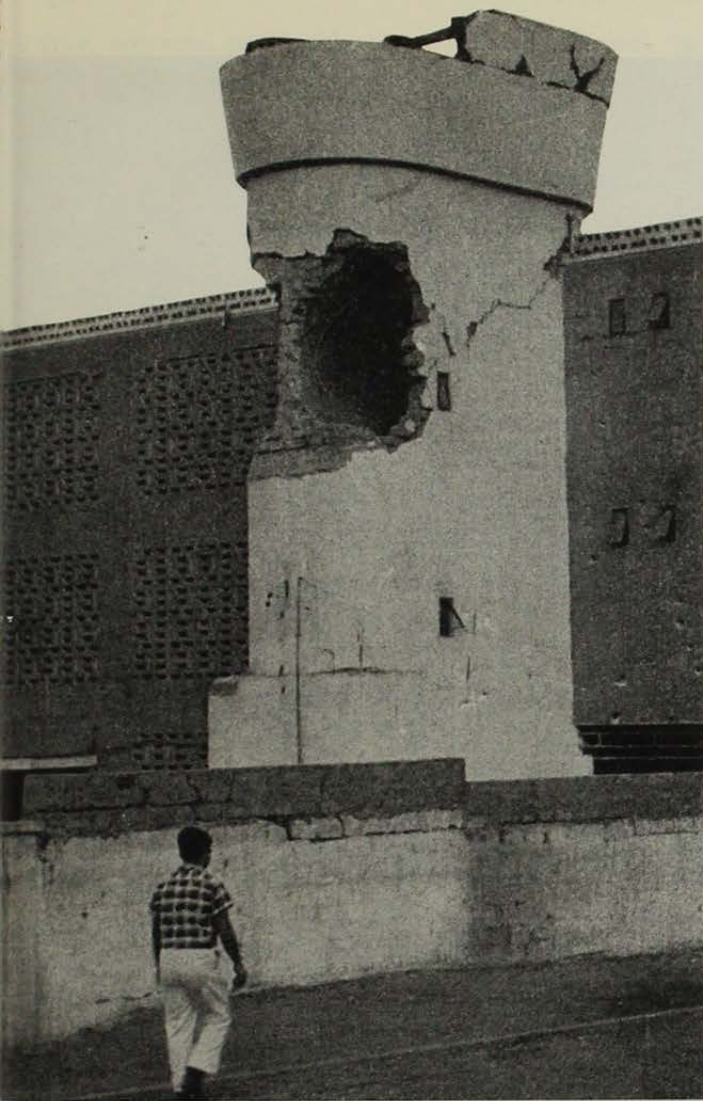
4 A. Lamana. Revista IDIEM, Vol. 3, Nº 1 - 1964.

6 Edificio de la Compañía de Teléfonos. El ventanal fue arrancado de su sitio, por deficiencias de anclaje. El antepecho se derrumbó por no existir una solución de unión con el resto de los muros. El limpio corte así lo demuestra. (Foto arqto. E. Orellana).



7 Edificio Compañía de Teléfonos. Sobrecimiento agrietado en la unión con el muro de hormigón. Falla de la junta de hormigonado. (Foto arqto. E. Orellana).





9 Liceo Fiscal. Los muros de bloques de cemento del estanque de agua, se desintegraron. (Foto G. Pueller).

unir, sobrecimientos y albañilerías, éstas con pilares y cadenas, etc.

La confección de morteros para albañilerías (por exigencia de las normas!!) debe ser realizada con uso exclusivo de arena y cemento, lo que determina mezclas rígidas y frágiles. Curioso es constatar que en Inglaterra, Argentina y Estados Unidos, entre otros, las normas nacionales recomiendan el uso de la cal como componente de los morteros, en proporciones como 1:2:9 - 1:1:6 - 1:1,25:9 respectivamente.

En empleo de la cal implica una mejor plasticidad, mayor retención de agua y a la postre, una albañilería menos frágil.

Este aspecto es tanto más importante en el uso de los bloques de mortero de cemento, en los que de por sí, se trabaja con un material rígido y con menor proporción de superficie de contacto por unidad, contacto que otra parte, generalmente no está bien resuelto. La salinidad de los áridos y la falta de agua en el norte de Chile, conspira además en contra de las albañilerías de bloques, a lo que se agrega - por problemas de transporte- el uso de cementos puzolánicos que son más sensibles a la acción de las sales que los de altos hornos.

Parecen ser éstas las razones más evidentes de la destrucción en los edificios en altura. Es cierto que la ausencia de barras de fierro de refuerzo acentuaron esta debilidad (en el Liceo estaban proyectadas y no se colocaron) pero parece ser ya claro que el empleo de bloques de cemento para albañilerías estructurales no es recomendable, sin que se verifiquen previamente las causas que originan fracasos tan reiterados. (Fotos 1, 3, 4, 5, 9 y 10).

La razón de su uso generalizado en el norte de nuestro país, como material de albañilerías, es fundamentalmente de carácter económico. Es allí la albañilería más barata. ¿Pero se podrá seguir considerando barata si la inversión realizada queda dañada en forma irrecuperable después de un sismo? Pareciera que este factor económico no ha sido bien considerado.

Por otra parte el ladrillo de arcilla se produce en la actualidad en el norte. La fábrica ubicada en Pozo Almonte (Depto. de Iquique) elabora un ladrillo de buena calidad con arcilla del lugar. Seguramente una prospección de yacimientos de arcilla en la región, permitiría la creación de nuevos centros de fabricación de materiales de arcilla. También debería tenerse en cuenta la posibilidad de utilizar la arcilla como árido artificial para ladrillos, u hormigones livianos. Esta prospección es de carácter urgente.

Otras soluciones, como el empleo de paneles prefabricados, no tienen por qué desestimarse.

Si existen estas posibilidades, ¿por qué se insiste tan ciegamente en un camino que la realidad en cada oportunidad desbarata? Mientras escribimos estas líneas se finiquitan los trámites para iniciar la construcción de 900 viviendas de bloques de cemento para Calama.

Por último existe el problema humano. Mala preparación del personal intermedio, tanto de dirección de obra, como de inspección. No existen prácticamente escuelas para la formación de este personal y su actual deficiencia se magnifica cuando los controles son masivos.

El obrero tampoco recibe preparación sistemática alguna y las más de las veces, es seleccionado en base a un menor salario y no por su mejor trabajo.

La inexperiencia muestra sus huellas en forma brutal con los sismos. Lo que parecía sólido, no lo era y sólo por descuido ignorante. Patas de anclaje olvidadas, elementos no estructurales como antepechos, mal afianzados, etc. (foto 6. También ver Auca 5 pág. 45).

Antes de terminar estas líneas, quisieramos dejar constancia de nuestros agradecimiento a los especialistas y colegas, que nos han dado ideas, nos han relatado malas experiencias - a veces de sus propias obras- y nos han facilitado material gráfico para este artículo. Pero también quisieramos mencionar a aquellos pocos, que siendo parte responsable del drama de las poblaciones de Tocopilla, nos negaron una información técnica que como experiencia habría sido valiosa. Pero ésto, que pareciera sólo un incidente de carácter personal, tiene un trasfondo que queremos destacar. Esta política del silencio, que generalmente va acompañada del "sumario interno" para sindicar responsables en calidad de víctimas expiatorias, sólo puede tranquilizar la inquietud de conciencia de una mente burocratizada. Un profesional es responsable de su quehacer como tal, ante la sociedad. Un profesional no puede guardar silencio voluntario y ni siquiera por omisión, en el esclarecimiento técnico de un tema tan candente, sin convertirse en culpable de un delito de ética profesional. No es ocultando los errores, como lograremos crear el diálogo para esclarecer sus causas y poder solucionarlos. Esperemos que todo haya sido una lamentable mala interpretación.

Las ideas expuestas expresan el deseo sincero de contribuir a esclarecer criterios frente a este fantasma que duerme junto a nosotros. Pareciera que los sismos que nos provocan tantos sinsabores, tienen una virtud, la de remover también nuestra conciencia de especialistas. Pero lamentablemente parece ser una virtud pasajera. Las experiencias, y los informes, se olvidan a pocas semanas del sismo, hasta el próximo, en que los volvemos a redescubrir.

¿Cuándo tendremos una actividad de conciencia permanente frente a este problema?

Arquitecto Sergio González E.