

3.A PARTE: EXPERIENCIAS DEL TERREMOTO DE MAYO.

La consecuencia inmediata del embate sísmico sobre los edificios es su destrucción o su ruptura parcial. Algunos de ellos, gravemente agrietados o desarticulados, deben demolerse; otros pueden ser reparados.

Emprender la reparación de un edificio presupone un exacto conocimiento técnico de los daños para calificar el grado de seguridad que, en el futuro, puede ofrecer ante nuevas sollicitaciones tectónicas.

Reconociendo la complejidad que envuelve emitir un juicio pericial sobre estos problemas nos atrevemos, sin embargo, a intentarlo por dos razones: no tenemos noticias de ninguna publicación que aborde específicamente el asunto, esperando que después de este ensayo, especialistas mucho más autorizados que nosotros se sientan estimulados para hacerlo. La segunda razón es nuestra firme convicción que el conocimiento del fenómeno sísmico en todos sus aspectos debe ser divulgado como el camino más seguro de obtener su dominio.

7. ROTURA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

La rotura de un material sometido a esfuerzos es un fenómeno complejo que ocurre bajo la acción simultánea de varias cargas y ha sido prolijamente observado en las máquinas de ensayo. No cabe aquí desarrollar una teoría de la rotura, sino proporcionar una información sobre como se produce la falla de los materiales constitutivos de un edificio sometido a movimientos sísmicos.

Para fijar ideas distinguiremos entre agrietamiento, aplastamiento, astillamiento, cortadura y desmoronamiento de materiales colocados en obra a través de las siguientes definiciones:

Por *agrietamiento* debe entenderse la rotura de la cohesión interna de un material en el total o en parte de la sección considerada, con o sin desplazamiento de las partes rotas y originado por fuerzas de cizalle y, ocasionalmente, tracción y torsión.

Aplastamiento es la rotura de un material en un área reducida, sin desplazamiento de las partes y originada por esfuerzos de compresión.

Astillamiento es la rotura de los materiales fibrosos (maderas naturales o conglomerados de madera) a causa de esfuerzos de flexión y tracción.

Cortadura es la rotura por tracción con separación completa de las partes. Tratándose de metales, se observa claramente una fuerte estricción en la zona cortada.

Desmoronamiento es un proceso complejo, típico de las albañilerías y del hormigón sin armar, caracterizado por la fragmentación de un miembro estructural y caída de sus partes.

Las sollicitaciones, denominadas también fuerzas exteriores, actúan de hecho sobre el sistema estructural, estudiado para que las resista. La resistencia de un determinado material a esfuerzos mecánicos es aproximadamente constante a lo largo del tiempo; para establecer las dimensiones de un elemento constructivo se procede a relacionar la sollicitación a que estará sometido con la resistencia del material que lo constituye, a través de un coeficiente



FOTOGRAFIA DE DGO. ULLOA

de seguridad. Cuando este coeficiente es igual a 1 el elemento está en equilibrio; si es inferior a 1, el elemento se rompe. De tal manera que, tratándose de materiales homogéneos puede decirse que un coeficiente mayor que la unidad expresa directamente el grado de seguridad de un elemento y, por extensión, de una estructura.

Por razones de índole económica y a veces de diseño, el dimensionamiento de una estructura se emprende sobre la base de solicitaciones de valor conocido y usando coeficiente de seguridad tanto más bajos cuanto mayor es el conocimiento y normalización de un material. Si en la realidad las solicitaciones sobrepasan lo previsto y se agota el coeficiente de seguridad, las estructuras se rompen.

Los expertos han afirmado que el terremoto de Mayo desencadenó una energía varias veces superior a lo previsto en nuestras Ordenanzas de Construcción y que la ruptura de los edificios ubicados en las zonas de máxima intensidad fué inevitable.

No hay todavía suficientes antecedentes para discutir esta afirmación, lo que exigiría reconstituir paso a paso la morfología de miles de edificios y comparar las reales condiciones en que fueron construídos con los daños experimentados pero, en verdad, existen dentro de una misma zona edificios de igual clase que tuvieron comportamientos diametralmente distintos durante el sismo. Lo anterior sólo puede ser explicado por el hecho que los materiales no tenían la resistencia exigida por las normas o porque sus elementos resistentes fueron incorrectamente diseñados.

Ambas situaciones deben ser superadas intensificando el estudio de los fenómenos sísmicos, de la constitución y mecánica de los terrenos de fundación, del comportamiento de las estructuras mediante ensayos en modelos y divulgando ampliamente las normas elementales para un mejor uso y preparación de los materiales de construcción.

B. ROTURA DE LAS ALBAÑILERÍAS.

Las albañilerías integran el más alto porcentaje de las estructuras de viviendas en Chile y el sismo de Mayo causó en ellas graves daños, especialmente en aquellos edificios desprovistos de refuerzos de hormigón armado (ver nota 8-1).

La debilidad de las albañilerías a las solicitaciones dinámicas se explica por su casi nula resistencia a tracción y su baja resistencia a cizalle, especialmente tratándose de albañilerías de ladrillo ordinario. En un sentido general, los ladrillos hechos a máquina, la mejor calidad de los morteros para adherir ladrillos y la maestría de la obra de mano aumentan la resistencia de las albañilerías a los diversos esfuerzos.

La forma típica de rotura de las albañilerías es el agrietamiento en todas sus fases siendo frecuente además el desmoronamiento y menos frecuente el aplastamiento por compresión excesiva.

Son especialmente vulnerables a la acción sísmica las superestructuras de albañilería (chimeneas, hastiales, antetechos y otros elementos superpuestos) no ligadas al edificio y más flexibles que éste en alguno de sus planos. Estas partes, al no derrumbarse totalmente, se agrietan y desplazan en el entronque con el edificio y deben —en general— demolerse después de un sismo.

NOTA 8-1: De Técnica y Creación Nº 2, extractamos la siguiente estadística publicada por C. Martínez:

Ciudad de Concepción	Encuestados	Afectados	Buenos
Edificios de albañilería	1.156	952	197
Edificios de albañilería con refuerzos de hormigón armado	1.781	185	1.596
Edificios de hormigón armado	50	1	49

Debido a la proporción entre sus dimensiones, los muros solicitados perpendicularmente a su plano tienen precaria estabilidad y es preciso reforzarlos con muros o contrafuertes prudentemente distanciados transfiriendo a estos parte o la totalidad de las acciones horizontales.

No existiendo en la parte superior del muro ningún mecanismo que lo enlace a otros muros perpendiculares (cierros, muros de galpones con techumbre de madera o muros de longitud excesiva sin refuerzos) corren el riesgo de volcarse agrietándose en la junta con la fundación. Los muros agrietados que han permanecido en pie después de un sismo están doblemente expuestos a ruina ante una nueva sollicitación de igual sentido, ya que su estabilidad después de agrietados sólo puede fundarse en la que le confiere su peso propio.

8 (A). LAS ALBAÑILERÍAS REFORZADAS.

En los edificios construídos de albañilería reforzada, los refuerzos consisten en pilares esquineros o intermedios insertados en la albañilería en el momento de su ejecución. Igualmente se disponen cadenas a lo largo de los muros de albañilería y se procura que resulten enlazados entre sí. Estos elementos se construyen de hormigón armado y sus dimensiones están regidas por la Ordenanza General de Construcciones y por el cálculo de estabilidad.

En el caso de estos edificios, las grietas afectan casi exclusivamente a los muros y se presentan en una proporción considerablemente menor. Durante el terremoto último se observaron escasos daños en pilares y cadenas de refuerzo y estos deben atribuirse en un 90% de los casos a mala calidad del hormigón, a compactación deficiente y a armadura escasa, fuera de normas. Sólo en contadas circunstancias se pudo establecer la ruptura de estos refuerzos por tensiones excesivas desarrolladas por la acción sísmica.

Los muros de una vivienda racionalmente planificada están colocados ortogonalmente y ocupan áreas casi equivalentes en ambas direcciones. En los edificios pare-

dos o entre medianeras la masa de los muros se acumula en una dirección y existe la natural tendencia de abrir las fachadas en la otra, escaseando aquí los muros y concentrándose en ese sector las tensiones máximas sobre la albañilería. Las grietas son en general diagonales o escalonadas y estando el macizo contorneado por refuerzos de hormigón armado, el ancho de la grieta es de unos pocos milímetros y los muros permanecen en pie sin desmoronarse.

Es interesante observar que los pequeños machones entre ventanas, sin carga por estar bajo un dintel rígido se agrietan siempre en el plano superior e inferior de apoyo, rotando muchas veces en un ángulo bien visible o desplazándose fuera del plomo general del muro.

Las grietas cruzadas con dirección próxima a los 45° que aparecen en muros macizos (sin vanos) corresponden a esfuerzo de corte ejercido en ambos sentidos.

La constatación de grandes grietas cuyo ancho es de varios milímetros y a veces superiores a 1 cm, revelan fuerte descalabro de la estructura general o de la parte individualizada y cabe presumir ruptura de los pilares o cadenas de refuerzo, asentamiento de las fundaciones, o lo que corresponde a fallas graves en el diseño de la estructura misma.

Las grietas no estructurales en edificios revestidos con estucos son fáciles de identificar y se localizan en los marcos de puertas y ventanas, en las cornisas, en los cielos falsos o revestimientos de tuberías y en los tabiques, como ya se dijo en la segunda parte de este trabajo.

9. RUPTURA DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO.

A medida que se avanza en el conocimiento de este material ha sido posible afinar las dimensiones de los elementos resistentes y, en el último tiempo, cambiar la expresión exterior de los edificios de manera fundamental.

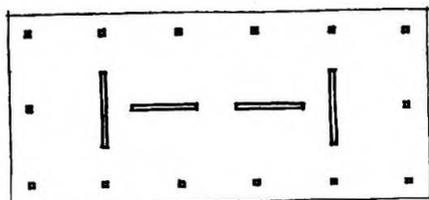


FOTOGRAFIA DEL ARQTO. PASTOR CORREA.

En el edificio de hormigón armado, el muro se ha ido alejando de la fachada hacia el interior, y esta se ha transformado en una pantalla ajena a todo sentido estructural. Esto no significa —en rigor— que la resistencia de estos edificios a los esfuerzos sísmicos haya disminuído; significa que el equilibrio debe conseguirse con un nuevo reparto de fuerzas, con nuevos elementos ubicados en la planta y con el aumento del régimen tensional a que quedan sometidos.

En las fotografías adjuntas puede verse la evolución seguida por las fachadas de edificios de oficinas construídos de hormigón armado, desde 1930 hasta nuestros días.

Si, conjuntamente con abrir y liberar las fachadas de todo elemento estructural mantenemos la idea del edificio rígido como defensa antisísmica, es evidente que el interior del edificio aparecerá recargado de muros. Si intentamos disminuir estos a un esquema igual o semejante al de la figura, pudiera suceder que fuese imposible evitar el volcamiento de esos elementos por la gran concentración de esfuerzo horizontal sobre cada uno de ellos.



La ruptura de edificios de hormigón armado se presenta exteriormente en forma semejante a la que adopta en edificios de albañilería, aun cuando siendo más esbeltos los elementos de hormigón armado puede predominar la flexión sobre el esfuerzo de corte. Esto último da origen a un agrietamiento por tracción rara vez observado en muros de albañilería.

La gran rigidez horizontal de las losas macizas, casi indeformables en esa dirección, provoca grietas en cualquier elemento débil unido a ella (pilares, tabiques, escaleras) durante el movimiento sísmico. Por la misma razón son afectados las vigas y dinteles empotrados por sus extremos a muros rígidos.

Las losas pueden agrietarse por torsión o giro del edificio (ver primera parte de este trabajo) o por cizalle cuando no existe continuidad vertical en uno de dos muros muy próximos. Las losas resultan también agrietadas cuando una parte del edificio experimenta asentamientos del terreno de fundación.

En estructuras muy esbeltas sustentadas con pilares, la intensificación de los esfuerzos de flexión por el pandeo, al dejar de ser axiales las cargas, provoca la ruptura del hormigón y la caída de la estructura.

Rara vez un edificio de hormigón armado se desmorona completamente durante un terremoto. Cuando esto sucede puede presumirse que la armadura ha sido insuficiente o que el hormigón era de calidad inaceptable. Los edificios aún seriamente afectados, con desplome de muros y pilares permanecen en pie mientras no se haya agotado totalmente la capacidad de deformación de las barras de la armadura. A ello contribuye incuestionablemente la organización monolítica y solidaria de todos sus elementos.

Es alentador constatar a través de la lectura de los datos estadísticos contenidos en nota 8-1 el bajo porcentaje de edificios de hormigón armado destruídos en el te-

remoto del año 1960. Si contribuimos a practicar y difundir las técnicas de preparación y puesta en obra del hormigón y la exigencia de un severo control sobre su calidad, nos asiste la legítima esperanza de que en el futuro aumentará la seguridad de los edificios construidos de hormigón armado ante la acción sísmica.

10. RUPTURA DE EDIFICIOS DE MADERA.

Las observaciones hechas sobre edificios de madera, posteriormente al terremoto de Mayo han permitido comprobar que en ellos, el término ruptura aplicado al material no debe ser tomado en un sentido literal. En tanto que el hormigón y la albañilería son débiles a los esfuerzos de tracción, la madera absorbe con mucho más propiedad tales esfuerzos como puede deducirse de los valores aproximados del cuadro siguiente:

Resistencia a tracción en kg/cm².

	kg/cm ²
Albañilería de ladrillos corrientes de 0 a	0,3
Albañilería de ladrillos hechos a máquina y morteros ricos	3,0
Hormigón corriente	18,0
Hormigón controlado	30,0
Madera de álamo, seca	380,0
Madera de roble	800,0
Acero de construcción	3400,0

No fueron observadas roturas de la madera maciza constitutiva de pilares, piedrechos, diagonales o vigas que pudieran atribuirse a la acción sísmica. Las roturas pesquisadas correspondieron a los puntos de enlace, a las zonas con rebajes y disminución de las secciones activas del material (hombros, caja y espiga, medias maderas, perforaciones de gran diámetro, etc.). Pudo observarse aplastamiento de la madera contra el tallo de los pernos y roturas de piezas con nudos pasados. Dejamos de lado los numerosos casos de rotura de postes de cimentación, podridos por largos años de exposición a la humedad y que habrían cedido de cualquier manera.



FOTOGRAFIA DEL ARQUITECTO PASTOR CORREA.

Tampoco fueron observadas roturas de las barras en grandes estructuras de techumbre, las que por lo general son proyectadas y detalladas con acuciosidad. En cambio, se constataron deficiencias en los apoyos de esas cerchas y en la contraventación longitudinal insuficiente.

Las bóvedas reticuladas (techumbres tipo red) tuvieron un buen comportamiento de conjunto pero falló en muchos casos la unión entre dovelas. En estos puntos, la precaria sección a que queda reducida la madera por la caja y la perforación del perno fué rota por cizalle o por aplastamiento.

En los pocos casos de edificios de madera destruidos, esto ocurrió por triangulación insuficiente o falla de los cimientos, antes que por rotura del material. Cuando esta fué comprobada, resultó siempre accidental.

El próximo paso en el perfeccionamiento de las estructuras de madera para edificios consistirá incuestionablemente en introducir adhesivos estructurales capaces ya de sustituir las uniones por encaje de la madera y por clavos, pudiendo utilizarse delgados pernos con el objeto de fijar las partes mientras el adhesivo endurece. El uso de adhesivos hace pensar en la posibilidad de construcción de edificios de madera de varios pisos, limitados sólo por la resistencia del material por cuanto su seguridad a la acción sísmica ha quedado plenamente demostrada.