

ACCION SISMICA

sobre los EDIFICIOS

FRANCISCO AEDO

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE EDIFICACIÓN EXPERIMENTAL.

PROFESOR DE EDIFICACIÓN.

PRIMERA PARTE:

1. DURACION DE LOS EDIFICIOS;
2. FISONOMIA DE LA ACCION SISMICA;
3. RIGIDEZ Y FLEXIBILIDAD;
4. CONDICIONES GENERALES DEL EDIFICIO ASISMICO.

1. Duración de los edificios.

La construcción de un edificio se organiza sobre la idea de una larga duración que garantice el esfuerzo humano empleado en erigirlo y permita amortizar los valores consumidos en él.

Aun cuando es lícito pensar ahora en edificios menos durables que los del siglo pasado, esto se materializará cuando los avances de la industria de prefabricación logren edificios completos a bajo costo y sus partes intercambiables, como ocurre en numerosas industrias de manufactura.

Los materiales para edificar son motivo de investigación constante dirigida a hacerlos más durables, especialmente a los efectos de la intemperie. Así y todo, los edificios en general tienen una duración limitada que está en relación con aquellas partes del mismo más expuestas o más perecederas o con la calidad de sus materiales básicos y, en un país sísmico,

con la idea estructural con que fue concebido.

En nuestro medio, los edificios construidos con exigencias técnicas normales tienen los siguientes tiempos de duración aproximados:

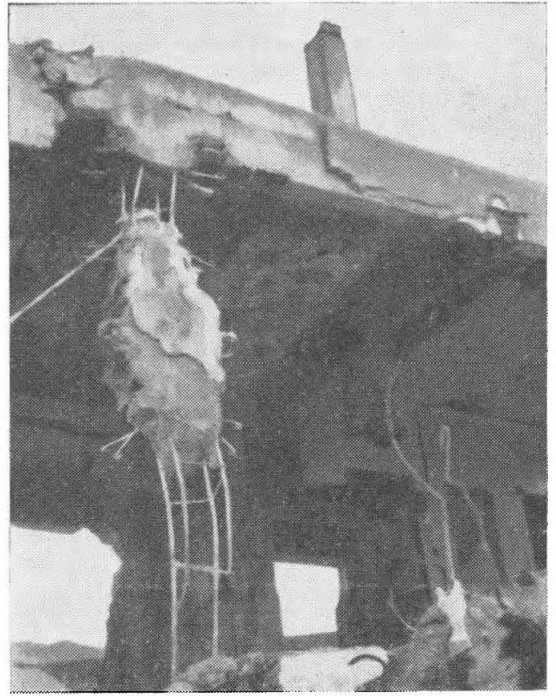
Edificios de hormigón armado	100 años
Edificios de albañilería	60 "
Edificios de madera	40 "
Edificios de adobe	20 "

Al término de estos plazos los edificios son —en general— demolidos o reforzados fundamentalmente por tener daños graves o porque no responden a las nuevas formas y organización de la vida colectiva y son substituidos por otros proyectados con nuevos conceptos arquitectónicos.

Durante el ciclo vegetativo de un edificio, la destrucción o ruina es paulatina y a veces, imperceptible. Las reparaciones juiciosas y emprendidas oportunamente prolongan la vida de un edificio.



LOZAS PUNZONADAS POR PILARES.- FCA. WEISS, VALDIVIA.



**↑ PILARES TRONCHADOS.
(FCA. WEISS, VALDIVIA)**



GRIETAS CLASICAS DE ESFUERZO DE CORTE EN LOS MACHONES DIVISORIOS DE VENTANAS, EN LOS MUROS DE ARRIOSTRAMIENTO, EN DINTILES Y EN PILARES. HOSPITAL REGIONAL DE VALDIVIA.

Las acciones destructivas de efecto lento son: el agua en todas sus manifestaciones; los microorganismos; la oxidación y corrosión de los metales; los ciclos frío-calor, humedad-sequedad; el desgaste de las partes móviles, los asentamientos del terreno de fundación, etc. Las acciones mecánicas distribuidas entre las partes de un edificio en reposo (peso del edificio, cargas adicionales o sobrecargas) que se consideran invariables dentro de ciertos límites, no constituyen motivo de destrucción cuando han sido calculadas cuidadosamente y repartidas entre los miembros resistentes de manera que las fatigas resultantes de los materiales no sean sobrepasadas en sus límites de seguridad (específico para cada uno de ellos).

Los huracanes, los terremotos y los maremotos son elementos de destrucción de carácter violento que desencadenan sobre el edificio fuerzas intensas de corta duración, capaces de moverlo, de sacarlo de su estado de reposo y —como ocurre en los terremotos— de imprimirle un movimiento vibratorio cuya intensidad y dirección son prácticamente imprevisibles.

En tales casos, la destrucción de un edificio puede ocurrir de diversas maneras:

- Traslado del edificio fuera de sus cimientos y descalabro general entre sus vínculos mecánicos (típico en edificios de madera).
- Volcamiento de las estructuras elevadas (estanques, torres, silos).

—Caída general del edificio en el lugar de emplazamiento, por ruptura de sus pilares o columnas principales. (Caso poco probable, ver nota 1-1 y fotografías).

—Destrucción y agrietamiento general, sin caída del edificio, que lo tornan irreparable a costos prudenciales. (Ver nota 1-2 y fotos).

Es digna de mención la acción de los maremotos sobre los edificios que une a la acción dinámica del embate de las masas de agua (efecto de ariete incrementado con las partes flotantes de otros edificios) la presión ascensional ejercitada sobre las estructuras de techumbre al irse elevando el nivel del agua dentro de los edificios inundados.

Nuestro país ha sido sometido a catástrofes de esta índole a lo largo de todo el territorio (ver cuadro de distribución según datos históricos proporcionados por el Instituto Sismológico de Chile) y no existe prácticamente ninguna zona a cubierto de ellas.

La estabilidad de nuestros edificios, su duración, está entonces permanentemente amenazada, con riesgo de muerte para sus moradores. Es deber de todo arquitecto lograr una conciencia más profunda del fenómeno sísmico, entrenarse a diario en perfeccionar el diseño estructural que contiene indudablemente los fundamentos de una arquitectura nacional, si es que tal arquitectura tiene razón de ser.

1-1 El edificio para la industria de calzado "WEISS", en Valdivia, construido en 1910, fue destruido en forma espectacular por el terremoto del 22 de mayo de 1960. Se trata de una nave de varias crujías estructurada con pilares y vigas de hormigón armado, techada con losa del mismo material sobre dientes de sierra (sheds). No había muros de arriostramiento y las fachadas eran diáfanos o con ventanales. El movimiento sísmico tronchó los pilares en la base (esfuerzo de corte y flexión). La techumbre cayó sobre las máquinas en toda la extensión de la planta. Algunos pilares punzaron las losas. No se hicieron investigaciones particulares sobre la calidad de los materiales ni sobre la magnitud de los esfuerzos desarrollados en los pilares. La versión del cuidador del edificio señala destrucción instantánea.

1-2 El edificio del Hospital Regional de Valdivia, construido aproximadamente en 1935, se desarrolla con un bloque principal de 6 pisos y varios cuerpos perpendiculares a él. La estructura es de hormigón armado con algunos entrepaños de albañilería en los pisos superiores. Tales edificios son en general rígidos y tanto las fachadas de hormigón armado como los muros interiores cumplen el papel de "atiezadores". Aun cuando este edificio permaneció en pie después del sismo, está irremediablemente dañado y experimentó todas las grietas clásicas de esfuerzo de corte en los machones divisorios de ventanas, en los muros de arriostramiento, en dinteles y en pilares.

DATOS HISTORICOS SOBRE SISMOS, PROPORCIONADOS POR EL INSTITUTO SISMOLOGICO

ARICA:			1939	Abril 18,	"	4	1724	Mayo 24,	"	4
			1940	Febrero 11,	"	4	1730 (5)	Julio 8,	"	5
1604	Noviembre 24,	Grado	1942	Septiembre 6,	"	4	1775	Marzo 17,	Grado	4
1615	Septiembre 16,	"	VALLENAR:				1824	Agosto 29,	"	4
1642-1643		"	1903	Diciembre 7,	Grado	4	1825	Diciembre 24,	"	4
1681	Marzo 10,	"	1904	Marzo 19,	"	4	1829	Octubre 1º,	"	4
1715	Junio	"	1920	Octubre 28,	"	4	1850	Diciembre 6,	"	4
1792	Agosto 7,	"	1922	Noviembre 10,	"	6	1851 (6)	Abril 2,	"	5
1831	Octubre 8,	"	1922	Noviembre 26,	"	4	1871	Marzo 25,	"	4
1833	Abril 25,	"	1923	Mayo 4,	"	4	1873	Noviembre 24,	"	4
1833	Septiembre 18,	"	1924	Enero 28,	"	4	1927	Abril 14,	"	5
1845	Junio 3,	"	1924	Octubre 20,	"	4	RANCAGUA:			
1860	Septiembre 20,	"	1928	Julio 28,	"	5	1905	Octubre 26,	Grado	4
1862	Mayo 20,	"	1934	Marzo 31,	"	5	SAN FERNANDO:			
1868	Agosto 13,	"	1942	Septiembre 6,	"	4	1945	Junio 24,	Grado	4
1869	Agosto 16,	"	LA SERENA:				TALCA:			
1869	Agosto 24,	"	1604	Diciembre	Grado	4	1869	Abril 29,	Grado	4
1871	Octubre 5,	"	1792	Noviembre 30,	"	4	1914	Enero 29,	"	4
1877	Mayo 9,	"	1801	Enero 1º,	"	4	1928	Diciembre 1º,	"	5
1878 (1)	Enero 23,	"	1893	Diciembre 17,	"	4	CHILLAN:			
1892	Marzo 29,	"	1849	Diciembre 17,	"	4	1939	Enero 24,	Grado	6
1896	Junio 14,	"	1858	Abril 10,	"	4	1943	Septiembre 22,	"	4
1948	Mayo 11,	"	1858	Abril 24,	"	4	1946	Junio 23,	"	4
1949	Abril 25,	"	1893	Febrero 22,	"	4	1953	Mayo 6,	"	5
1956	Enero 8,	"	1947	Agosto 28,	"	4	CONCEPCION:			
IQUIQUE:			1954	Julio 23,	"	4	1570	Febrero 8,	Grado	6
1877	Mayo 9,	Grado	1956	Junio 8,	"	4	1637	Marzo 15,	"	6
1911	Septiembre 15,	"	COQUIMBO:				1731	Mayo 25,	"	6
1933	Febrero 23,	"	1639	Diciembre	Grado	5	1816	Enero 20,	"	4
1934	Diciembre 4,	"	1648		"	4	1831	Diciembre 24,	"	4
1946	Julio 26,	"	1822	Noviembre 4,	"	4	1832	Diciembre 24,	"	4
1956	Enero 8,	"	1847	Octubre 8,	"	5	1835	Febrero 20,	"	6
CALAMA:			1877	Julio 26,	"	4	1898	Julio 23,	"	4
1870	Abril 22,	Grado	1955	Abril 12,	"	4	1923	Noviembre 6,	"	4
1878	Enero 10,	"	ILLAPEL:				1934	Marzo 1º,	"	4
1953	Diciembre 6,	"	1876	Febrero 11,	Grado	4	TUCAPEL:			
ANTOFAGASTA:			1927	Noviembre 4,	"	4	1790	Mayo 19,	Grado	5
1908	Febrero 23,	Grado	1843	Abril 6,	"	5	ANGOL:			
1928	Noviembre 20,	"	SAN FELIPE:				1949	Abril 19,	Grado	5
1929	Octubre 19,	"	1687	Julio 12,	Grado	4	IMPERIAL:			
1936	Julio 26,	"	1810	Abril 24,	"	4	1562	Octubre 28,	Grado	5
1950	Diciembre 9,	"	1909	Abril 28,	"	4	VALDIVIA:			
TALTAL:			1942	Junio 29,	"	4	1520		Grado	5
1936	Julio 13,	Grado	LA LIGUA:				1575	Diciembre 16,	"	5
1937	Octubre 12,	"	1847	Marzo 8,	Grado	5	1737	Diciembre 24,	"	5
1956	Diciembre 17,	"	1873	Julio 7,	"	5	1837	Noviembre 7,	"	5
COPIAPO:			1953	Septiembre 4,	"	4	1907	Junio 13,	"	4
1773	Julio 29,	Grado	VALPARAISO:				OSORNO:			
1796	Marzo 30,	"	1730	(ver Santiago).	Grado	4	1954	Julio 26,	Grado	4
1796	Agosto 24,	"	1743	Enero,	"	4	CASTRO:			
1819	Abril 3,	"	1775	Marzo 17,	"	4	1786	Octubre 4,	Grado	4
1819	Abril 4,	"	1821	Enero 18,	"	4	1787	Febrero 11,	"	4
1819	Abril 11,	"	1822	Noviembre 19,	"	5	1832	Enero 21,	"	4
1822	Noviembre 4,	"	1822	Noviembre 22,	"	5	1919	Marzo 1º,	"	4
1822	Noviembre 5,	"	1822	Noviembre 25,	"	5	1927	Noviembre 21,	"	5
1846	Marzo 14,	"	1829	Septiembre 26,	"	5	PUNTA ARENAS:			
1847	Enero 19,	"	1851	(ver Santiago).	"	4	1944	Diciembre 17,	Grado	4
1851 (2)	Mayo 26,	"	1871	Marzo 25,	"	4				
1857	Noviembre 7,	"	1873	Julio 7,	"	5				
1859 (3)	Octubre 5,	"	1874	Septiembre 27,	"	4				
1864	Enero 12,	"	1896	Marzo 13,	"	4				
1866	Junio 22,	"	1906	Junio 18,	"	4				
1868	Octubre 12,	"	1906	Agosto 16,	"	6				
1890	Septiembre 19,	"	SANTIAGO:							
1909	Junio 8,	"	1582	Agosto 7,	"	4				
1912	Junio 14,	"	1643	Septiembre 6,	"	4				
1913	Noviembre 9,	"	1647 (4)	Mayo 13,	"	6				
1917	Febrero 14,	"	1688	Julio 12,	"	4				
1917	Julio 27,	"	1690	Julio 19,	"	4				
1918	Mayo 20,	"								
1918	Diciembre 4,	"								
1922	Noviembre 7,	"								
1924	Enero 28,	"								
1924	Octubre 20,	"								
1925	Mayo 15,	"								
1934	Marzo 31,	"								

(1) Volcán Isluga en erupción.

(2) Marejada en Caldera y Huasco.

(3) Maremoto en Caldera.

(4) Choapa al río Maule.

(5) También Valparaíso. Se sintieron 3 sismos de igual intensidad. El maremoto

abarcó desde Callao (Perú) hasta Valdivia.

(6) Afectó Valparaíso y desde Copiapó a Talcahuano.

2. Fisonomía de la acción sísmica.

Las estructuras construidas por el hombre han debido siempre resistir fuerzas de dirección horizontal además de las de gravedad. Aquéllas están caracterizadas principalmente por la presión de las tierras, las del agua y el empuje del viento. Para cada uno de estos casos, primero empíricamente y mediante el análisis mecánico matemático después, el hombre ha sido capaz de construir una estructura singular con un margen de seguridad admirable. Esto se debe a que tales fuerzas obedecen a leyes casi inmutables y sólo fue necesario respetarlas y afrontar su medición para tener su dominio. Por otra parte, tanto la acción del viento como el empuje de las tierras o del agua están *directamente* aplicados a las estructuras destinadas a soportarlas, son visibles y sus efectos, de gran regularidad.

Haciendo abstracción del complejo fenómeno de las mareas y sus consiguientes efectos sobre las construcciones marítimas, la defensa contra la acción horizontal sobre determinadas estructuras es conocida desde antiguo, como asimismo los perfiles de los muros de sostenimiento que actúan por gravedad.

Los edificios son esencialmente construcciones "aéreas"; esto es, se alzan en la mayor parte de su dimensión por sobre la superficie de la tierra, aun cuando algunos edificios contemporáneos tienen importantes fracciones de su masa en el subsuelo.

Las fuerzas que un sismo desencadena son transmitidas al edificio por el terreno sobre el cual se funda. El terremoto entra en acción sacudiendo estas fundaciones con movimientos que pueden estar dirigidos en cualquiera de los sentidos del espacio. La transmisión al edificio mismo se verifica entonces a través de los enlaces de éste al terreno y la naturaleza del efecto final de la sacudida sísmica sobre la obra depende en gran medida de la condición mecánica de dichos enlaces. Una masa edificada puede ser arrastrada en el movimiento de la tierra, sin deformación visible de sus partes; puede ser cortada de inmediato en su entronque con la fundación, o puede ser parcialmente doblegada antes de iniciarse el verdadero movimiento de su parte aérea. En todo caso, la aplicación de las fuerzas sísmicas a un edificio es *indirecta* y un tanto diferida

por la distinta capacidad de deformación de sus miembros estructurales.

El esqueleto de nuestros edificios es extraordinariamente complejo y la disposición de sus partes obedece más bien a la función que en él se desarrolla, antes que a un estudio minucioso de su comportamiento mecánico. Son, asimismo, extraordinariamente variados los materiales que constituyen este esqueleto o estructura y las dimensiones que ellos adoptan. Agregaremos aun que los procedimientos para apoyar y entrelazar barras distintas de una misma estructura, son a menudo disímiles y no siempre correctamente concebidos.

Cualquier observador puede deducir de lo anterior que es incierto y casi imposible prever en un proyecto de edificación cuál será la intensidad y dirección de las fuerzas sísmicas. En efecto, el problema no tiene por lo pronto soluciones exactas y nuestro conocimiento se apoya en aproximaciones. En este orden, tienen el carácter de "honorables" aproximaciones los siguientes términos:

Intensidad de la acción sísmica.

Dirección de la propagación del movimiento.

Amplitud y período de la onda sísmica.

Período propio de vibración de las estructuras complejas.

Momentos de inercia de las partes de un edificio.

Módulo de elasticidad de los materiales.

Resistencia de los materiales complejos (hormigones y albañilerías).

Resistencia de los terrenos de fundación.

A las dificultades anteriores se une el hecho —feliz por cierto— que los terremotos destructivos son de corta duración, circunstancia que ha impedido un conocimiento más exacto de sus leyes. Se distancian por largos períodos en que renace la confianza de los empíricos y se diluye un tanto el dramatismo de su acción destructora. A igual que la ciencia militar, sus lecciones son impartidas por las catástrofes y deben ser aprendidas allí donde éstas ocurren.

A una mejor comprensión del comportamiento de las estructuras de edificios ante los terremotos ha prestado una valiosa ayuda el ensayo sobre modelos y la elástisimetría, limitada un tanto por la imposibilidad de reproducir en aquéllos las distintas escalas dimensionales y de calidad de que un edificio consta.

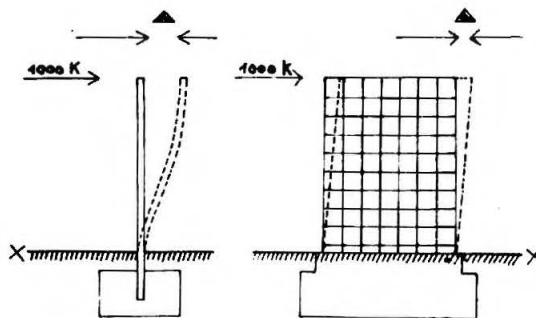
3. Rigidez y flexibilidad

En último término, todas las fuerzas aplicadas a las partes de un edificio son transferidas al terreno sobre el cual se funda y equilibradas por éste, sin experimentar desplazamientos ni deformaciones apreciables. Las fundaciones ordinarias de edificios son solidarias al terreno en un grado elevado o, dicho en otras palabras, las fundaciones se consideran empotradas en el terreno. (Se establece la salvedad de aquellos edificios fundados en "cajones flotantes", cuando el terreno es fangoso, débil o extremadamente inestable.)

En la práctica, todos los terrenos experimentan deformaciones bajo las cargas de un edificio; sus partículas se desplazan en los primeros momentos de la transmisión, se acomodan, "absorben" las cargas y pasan finalmente a un período estacionario, el de equilibrio.

El estudio de la estabilidad de un edificio parte del supuesto que el área comprometida del terreno de fundación es capaz de garantizar el equilibrio para todas las complejas situaciones de carga que en él puedan presentarse. En ciertos casos, los proyectos fijan de antemano las posibilidades de asentamiento del terreno de fundación y los esfuerzos secundarios que en este caso afectarán a la estructura.

Los edificios, en general, se consideran empotrados en su fundación. Sentado lo anterior, consideremos según el esquema, un pilar de acero de 10 cm. de diámetro y un muro de hormigón armado de 2,00 m. de largo. Ambos elementos tienen la misma altura y están empotrados en su fundación.



Si aplicamos simultáneamente, en la cabeza del pilar y del muro una fuerza horizontal de 1.000 Kg. y medimos los desplazamientos má-

ximos, éstos serán diferentes para cada caso, dependiendo de dos factores:

- a) la naturaleza de los materiales.
- b) la relación entre el momento de inercia de las secciones y la altura correspondiente.

El primer factor (de forma) define los conceptos de rigidez y flexibilidad para elementos de un mismo material. Combinando ambos, los conceptos se pueden generalizar para estructuras complejas. Decimos que un pilar es flexible ante un muro por cuanto, bajo la misma sollicitación horizontal, la deformación del pilar será mayor que la del muro, o a la inversa.

En ambos casos (pilar y muro) la fuerza de 1.000 Kg. debe ser transmitida íntegramente al terreno sin desmedro de la integridad de los elementos constructivos. En el caso del pilar decimos que el trabajo mecánico desarrollado en el acto de transmisión, es de flexión predominante. En el caso del muro (flexión casi inapreciable) el trabajo será de cizalle o esfuerzo de corte.

Estas fuerzas teóricas, discriminadamente impuestas para una demostración experimental, pueden ser aplicadas en el plano X-X (encuentro con la fundación) y supuestos los elementos cargados por otras partes del edificio y actuando además su peso propio, tendremos la situación aproximada de lo que ocurre en la sacudida sísmica.

Grosso modo, un edificio puede estructurarse de las siguientes maneras:

- a) Edificios sustentados exclusivamente por pilares flexibles.
- b) Edificios mixtos, con pilares flexibles y muros rígidos.
- c) Edificios sustancialmente construidos con muros rígidos orientados en dos sentidos predominantes.

Un edificio flexible en su extremo límite no se aviene casi a ninguna función arquitectural. Edificios extraordinariamente rígidos son —en cambio— frecuentes.

Por otra parte, las ideas generales sobre flexibilidad y rigidez comparativas de distintas estructuras pueden captarse considerando a los edificios como sistemas sometidos a movimientos vibratorios. En este caso es posible calcular analítica o experimentalmente su pe-

ríodo propio de vibración. A los edificios elásticos (flexibles) corresponden períodos de vibración largos; a los rígidos corresponden períodos cortos, pasando por los valores intermedios correspondientes a distintas estructuras.

La Ordenanza General de Construcciones (Edición INDITECNOR 1949) en atención a que los sismos destructores registrados en el mundo tenían períodos comprendidos entre 1 y 2 segundos, denomina rígidas las estructuras cuyo período de vibración es menor que 0,75 seg. y elásticas o flexibles aquellas de períodos iguales o superiores a 2 seg. La misma Ordenanza proscribía las estructuras de período intermedio en previsión al fenómeno de la resonancia entre ambos medios vibrantes.

En la práctica, ambos tipos de edificio, el flexible y el rígido, existen condicionados a las necesidades impuestas por la realidad a quienes los proyectan. Ambas situaciones son imperativas para el arquitecto, quien no debe reemplazar una por la otra, a pretexto que el edificio rígido resista mejor que el elástico las acciones sísmicas.

Para ambas situaciones hay un material preferencial, una forma de proyectar, de calcular y de construir de tal manera que, al final, las solicitaciones y las reacciones se equilibren asegurando la estabilidad del edificio.

El hecho de que en nuestro medio prevalezcan casi sin contrapeso las edificaciones rígidas y monolíticas como única respuesta a la solicitación sísmica, no significa otra cosa que la insuficiente información que se tiene de otras estructuras. Será preciso experimentar las posibilidades del acero y del hormigón pre y post-tensado, previendo las dificultades constructivas que surgen cuando en los edificios que ancestralmente hemos concebido inmóviles, aparezcan movimientos y desplazamientos.

4. Condiciones generales del edificio asísmico.

Creemos que el arquitecto no puede eludir, a pretexto de la "libertad del acto creador", el conocimiento de la realidad sísmica desde los primeros trazos del anteproyecto.

Una madura concepción estructural no involucra necesariamente destreza y capacidad para el cálculo de secciones, aun cuando obli-

ga a un conocimiento cabal de las leyes de la estabilidad y la naturaleza de los materiales. La tarea de calcular es resuelta con todo brillo por especialistas en esta disciplina y, en el futuro, será indudablemente cumplida por los cerebros electrónicos. Pero mediante el cálculo no podrá mejorarse gran cosa una estructura mal concebida.

En las condiciones generales del edificio asísmico cobran especial importancia los siguientes factores:

- a) Criterio estructural.
- b) Diseño constructivo.
- c) Control de calidad de la obra material.

A ello nos referiremos por separado.

Criterio estructural.

Es evidente, desde un plano teórico, que los "puntos débiles" de una estructura sometida a acción sísmica son los mismos que serían débiles en una estructura cualquiera, ya que la característica de "debilidad" involucra errores o indeterminaciones exageradas en el cálculo general de estabilidad. La diferencia radica en que la estructura estática puede impunemente admitir ciertos puntos débiles, que jamás serán solicitados por otras fuerzas distintas a las que originaron su cálculo. Dicho en otras palabras, en la estructura inmóvil cada elemento soporta la cuota de carga que le fue asignada, individualmente.

En el edificio sacudido por la onda sísmica (como en los otros) existen elementos de valor resistente estricto y otros sobredimensionados por causas cualesquiera. El terremoto es en sí una emergencia trágica, como la sobretensión de las líneas eléctricas o las avenidas para un cauce hidráulico. Para resistirlo, el proyectista debe disponer en la estructura la posibilidad de colaboración de todas las partes. Citando las palabras del prestigioso Ing. Profesor señor Salomón Chornik, él atribuye al criterio estructural antisísmico las mismas virtudes que pueden exigirse a una sociedad ideal: "todos sus miembros serán solidarios en la acción y los débiles serán ayudados por los fuertes".

Esta condición de solidaridad se cumple magníficamente, en forma automática, en los edificios de entrepiso monolítico. Es posible

de obtener, mediante dispositivos adicionales en edificios de estructura de acero y es nula o casi nula en edificios de albañilería con entrepisos de madera.

Las recomendaciones que siguen se deducen de afirmaciones anteriores y han encontrado corroboración en la práctica y en la observación de los daños causados por los terremotos de 1939 en Chillán y de 1960 en las provincias australes. No tienen la pretensión de normas inamovibles y son, a lo sumo, meros intentos de sistematizar observaciones y reflexiones que otros profesionales no han tenido oportunidad de constatar o de expresar.

Las condiciones que aquí se establecen deben considerarse como "normales" en un proyecto de arquitectura antisísmica, pero no obligatorias. Si no son logradas en la planificación, el problema debe ser abordado como anormal y estará sometido a las contingencias del cálculo.

a) La altura de la edificación guardará relación con el lado menor del rectángulo de la planta. (Ver O. G. de C. y U.);

b) Aunque obvio, debemos recordar que los edificios industriales o típicamente técnicos (molinos con maquinaria en pisos superpuestos, silos, torres, estanques, etc.), en que el centro de gravedad de las cargas está ubicado muy por encima del plano de fundación, son particularmente sensibles a la acción sísmica. Sus elementos resistentes y sus fundaciones, deberán ser generosamente dimensionados;

c) La forma externa de la planta de un edificio no tiene una estricta relación con su resistencia ante los terremotos, aun cuando los polígonos regulares cerrados y las circunferencias son más favorables que los rectángulos estrechos. Los cuerpos de edificación de masa y alturas, fundamentalmente diferentes, deben separarse mediante juntas de construcción;

d) Desde el punto de vista sísmico, la modulación a distancias iguales (cuadrícula) en edificios de estructura mixta, compuestos de pilares y muros de arriostamiento no agrega nada a la estabilidad de los mismos. Esto tiene sentido cuando se trata de edificios construidos a base de pilares aislados y cuando es posible distribuir más o menos uniformemente la carga sobre los pilares;

e) La continuidad vertical y horizontal de

las estructuras favorece considerablemente la operación del cálculo asísmico y del estático y asegura el cumplimiento riguroso de la mayor parte de las hipótesis de la estabilidad;

f) En edificios con muros de rigidez o en aquellos estructurados con pilares dispuestos caprichosamente, existe la tendencia a girar bajo la sacudida sísmica cuando el centro o pivote de rigidez no coincide con el centro efectivo de gravedad, proyectado sobre el piso que se estudia. Si ambos centros difieren fundamentalmente, la tendencia a la rotación es efectiva e importa la aparición de momentos de distorsión que deben sumarse a los encontrados en el análisis normal y cuya magnitud será proporcional a la excentricidad. Se deduce que los elementos de rigidez no deben ser exclusivamente los resultantes de la necesidad planimétrica arquitectural, sino que deben ser estudiados y agrupados en las proximidades del centro de gravedad de la planta del edificio;

g) Todo elemento de rigidez de una estructura de tipo "monolítica" absorbe carga sísmica proporcionalmente a dicha rigidez y constituye —por cierto— un punto típico de concentración de tensiones. De aquí que sea altamente peligroso para la estructura de un edificio atribuir a unos pocos elementos de rigidez la función de transmitir al terreno la totalidad de los esfuerzos. Es preferible emplear en esta transmisión el mayor número posible de elementos y en condiciones de carga aproximadamente iguales;

h) Los muros o pilares que recogen esfuerzo sísmico son solicitados horizontalmente y su tendencia mecánica es el volcamiento, tanto más acentuada mientras menor es su peso y menor la carga vertical que les corresponda. Será preciso disponer la estructura de manera que dichos miembros reciban la máxima carga vertical compatible con la sección adoptada. (Lo anterior es típico en el estudio de las fundaciones de muros o machones muy rígidos);

i) Si la planificación arquitectural impone una estructura elástica, ésta debe serlo en forma rigurosa y no a medias. Lo anterior significa que el arquitecto debe asimilar de inmediato la idea de que su edificio ha de desplazarse en forma no habitual, bajo la acción de los temblores. Interesa conocer con sufi-

ciente aproximación el valor máximo de estos desplazamientos, a fin de adoptar las soluciones constructivas compatibles con un edificio capaz de moverse (revestimientos exteriores; tabiques divisorios; ventanales; encaje de los vidrios; tubería en general; chimeneas y conductos de ventilación; estanques elevados, etc.);

j) Un edificio de acero puede ser estudiado como rígido; un edificio de hormigón armado convencional puede ser concebido como flexible. Pero, en ambos casos, no se dará a los materiales su expresión y uso legítimos; y

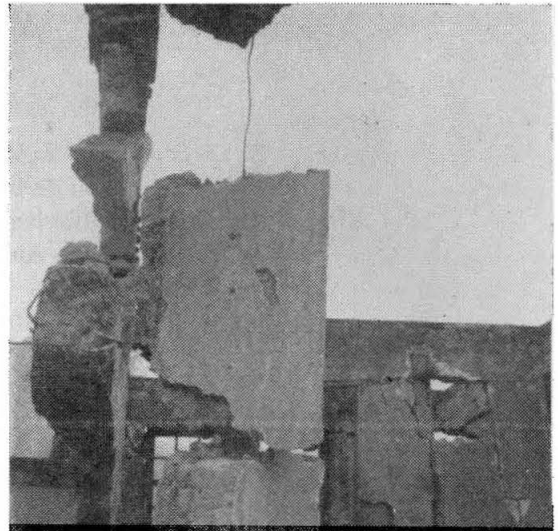
k) La industrialización de la construcción a base de la fabricación en serie de elementos

de hormigón armado y precomprimido, obliga a un minucioso estudio de los enlaces de dichos elementos en los nudos estructurales para establecer continuidad. Esta puede lograrse colocando suficiente armadura en dichos nudos, soldando las barras entre sí y restableciendo a posteriori la totalidad de la sección de hormigón que el cálculo indica. Mediante el post-tensado es posible establecer en esos nudos mejores condiciones de continuidad. En las estructuras de acero el problema de la formación de los nudos, mediante la soldadura al arco, debe considerarse enteramente resuelto y favorable a la continuidad.

Santiago, marzo de 1961.



LOSA DE TECHUMBRE DE HORMIGÓN ARMADO DE LA FCA. WEISS DE VALDIVIA. (Ver pág. 29).



DESTRUCCION POR FALLAS CONSTRUCTIVAS Y ESTRUCTURALES. (LOTA).

NOTA. La segunda parte de este trabajo será publicada en el N° 3 de **TECNICA Y CREACION** y comprende los siguientes capítulos:

- 5 Diseño constructivo de edificios sísmicos.
- 6 Control de calidad de la obra material.
- 7 Experiencias del terremoto de mayo de 1960.