

Regulaciones Sismo resistentes en Chile

MAURICIO SARRAZIN ARELLANO

Ingeniero Civil Universidad de Chile. Master of Sciences y Doctor of Sciences, M.I.T. USA. Profesor de Ingeniería Estructural, Depto. Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas U. de Chile.

HISTORIA

La historia moderna de las regulaciones sismo resistentes para el diseño estructural comienza en Chile con el sismo que afectó a la Provincia de Talca el 1º de diciembre de 1928. El Gobierno redactó, entonces, un Proyecto de Ley *"cuyo propósito era regular las construcciones desde el punto de vista de su estabilidad y establecer los organismos técnicos que debían intervenir en el examen y aprobación de los proyectos de edificación"*. Para ello se designó una comisión ad hoc con la misión de elaborar un proyecto de Ordenanza General de Construcciones y Urbanización, que fue aprobada finalmente en 1931.

El 24 de enero de 1939 se produjo el terremoto de Chillán, que afectó una vasta zona del Sur de Chile destruyendo varias ciudades y causando 30.000 víctimas fatales. Al comprobar el Gobierno que gran parte de los daños eran consecuencia de la mala calidad sismorresistente de las construcciones nombró una comisión para que emitiera un informe (1) proponiendo procedimientos para la determinación de la acción de los sismos sobre las construcciones. Sobre la base de ese informe, otra comisión, designada en 1945, propuso las modificaciones a la Ordenanza que, promulgada en 1949, constituye esencialmente la Ordenanza actual.

En 1959, motivado por el terremoto de Las Melosas de 1958, se inició la larga elaboración de la actual norma INN: Cálculo Antisísmico de Edificios, que culminó en 1972 con su aprobación como norma oficial.

El Terremoto de Chillán.

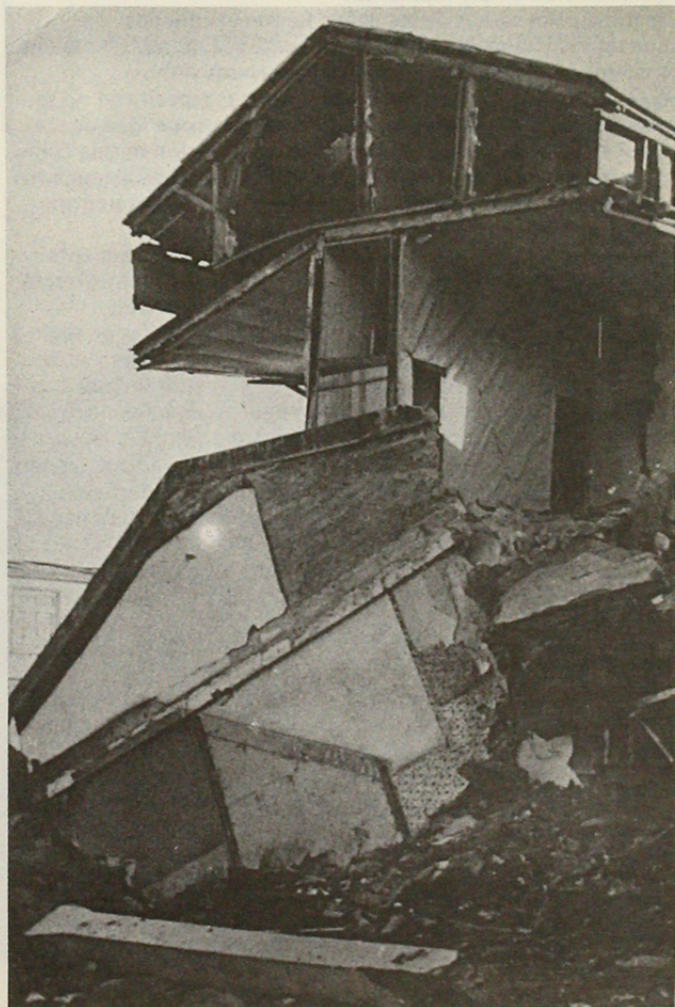
Es de interés recordar algunos de los conceptos señalados por la comisión que estudió el terremoto de Chillán. En esa oportunidad, se analizó la ciudad de Chillán casa por casa, incluyendo 3482 viviendas. De estas, el 87% era de adobe o ladrillo sin refuerzo. Ninguna de ellas quedó en buen estado, derrumbándose el 59% de las casas de adobe y el 44% de las de ladrillo. En cambio, de las de albañilerías reforzadas con pilares y cadenas de hormigón armado, el 53% quedó sin daños. Es interesante también señalar que los daños fueron aproximadamente de la misma importancia en casas de adobe que en casas de albañilería sin reforzar. Según la Comisión, *"la ventaja de la mayor resistencia del ladrillo sobre el adobe se pierde por la disminución de espesor de los muros, por la mayor fragilidad del material y por su mayor densidad"*. Más adelante señala: *"Estos dos tipos de habitaciones debieran, en consecuencia, proibirse. Sin embargo surge la pregunta de si siempre habrá material adecuado para reemplazar al adobe. Por este motivo la Comisión no ha querido recomendar la supresión de este tipo de casas de la lista de la Ordenanza y se ha limitado a indicar modificaciones que aumenten su resistencia sísmica. Debe advertirse que no hay que pensar que tales modificaciones conduzcan a hacer estas casas seguras contra terremotos, porque el adobe tiene condiciones específicas, tales como su fragilidad, peso, falta de homogeneidad, desmejoramiento con el tiempo, etc., que le impiden comportarse satisfactoriamente"*. *"Pero, si ahora no parece posible suprimir enteramente el adobe,*

estimamos en cambio útil hacer una propaganda constante para llevar al ánimo de la gente la idea de que debe, en lo posible, evitar su empleo. Y el procedimiento más eficaz sería: 1º divulgar otros procedimientos de construcción que lo reemplacen y 2º dar facilidades a los interesados que deseen construir con otros materiales asísmicos".

Los terremotos del Sur de 1960

Los días 21 y 22 de mayo de 1960 ocurrieron dos grandes sismos en la zona Sur de Chile, de magnitudes aproximadas 7,75 y 8,75 en la escala de Richter. El segundo de ellos constituyó

Valdivia, 1960. Colapso de muro cortafuego entre casas de madera.





Valle del Choapa, 1971. Albañilería de ladrillo fiscal con cadena superior y tensores en las esquinas.

uno de los terremotos más grandes de la historia sísmica mundial, alcanzando intensidades máximas de hasta 11 (MM) en la zona de Valdivia.

Muchas de las construcciones importantes de la zona afectada por los sismos estaban hechas de acuerdo a las especificaciones de la Ordenanza General de Construcciones y el resultado de la protección sísmica lograda fue satisfactorio. Algunas deficiencias detectadas se trataron de corregir en la norma NCh433, Cálculo Antisísmico de Edificios, que se encontraba en elaboración en ese momento.

Las principales causas de los daños fueron los diseños defectuosos y la mala práctica constructiva. Ello representa una constante que se ha observado también en los sismos posteriores. Muchos aspectos que las normas especifican no se cumplen, lo cual está mostrando la imperiosa necesidad de mayor control de calidad, tanto de la construcción misma como de los proyectos. Fallas típicas de diseño observadas durante los sismos son (2): Impacto entre estructuras adyacentes por no dejar la debida tolerancia para permitir vibraciones independientes; efectos de torsión en planta no debidamente considerados; detalles mal desarrollados; apreciación incorrecta de las rigideces relativas de los elementos estructurales; estructuras secundarias ubicadas sobre edificios; fallas de suelo y fundaciones, e interacciones no consideradas entre elementos estructurales y elementos supuestamente no estructurales. Los defectos constructivos detectados son múltiples, pero entre los más importantes cabe señalar: mala calidad del hormigón armado, lo cual se refleja en defectos tales como: hormigón mal colocado, juntas de construcción mal hechas, armaduras mal ubicadas, empalmes de armaduras mal hechos, etc.; mala calidad de las albañilerías; ejecución indebida de detalles importantes como juntas de dilatación y apoyos deslizantes; mala calidad de las soldaduras de elementos metálicos, etc.

Los sismos de 1965 y 1971.

Estos dos sismos tuvieron características similares y la misma zona epicentral: La Ligua. La magnitud fue en ambos casos del orden de 7,5 y produjeron gran destrucción por cuanto afectaron a una zona densamente poblada. Se vuelve a comprobar el mismo tipo de daños que en sismos anteriores. Los edificios de estructura moderna de hormigón armado y albañilería de ladrillos tuvieron, en general, buen comportamiento. Fallas típicas que se presentaron fueron las siguientes:

- Daños producidos en la estructura soportante de muchos estanques para agua potable colocados en la parte superior de

edificios de varios pisos. Estas fallas se produjeron incluso en lugares donde la intensidad sísmica no superó el grado VII.

- Fallas en casos de estructuración complicada, en que la transferencia de carga no seguía un plan sencillo y lógico.
- Daños en las juntas de concretadura.
- Daños en nudos de estructuras de hormigón armado construidas por marcos rígidos, en los cuales el número de estribos era insuficiente.
- Destrucción de tabiques de albañilería de ladrillos o bloques y de tabiques de yeso en edificios altos, especialmente en edificios flexibles.

Merecen destacarse también las fallas producidas por falta de estudios de mecánica de suelos, especialmente por asentamientos diferenciales de fundaciones, fallas por corte y fallas de taludes (Reñaca, por ejemplo).

También son dignas de mención las fallas en obras de ingeniería civil, como la interrupción del acueducto que suministra agua potable a Valparaíso por causa de rodados de rocas, los cuales causaron también la interrupción de varios caminos y vías férreas.

Durante el sismo de 1971, los puertos de Valparaíso y San Antonio sufrieron daños de consideración por asentamientos del relleno del malecón y corrimiento del muro de contención hacia el mar.

Los edificios modernos de hormigón armado, que cumplían con las especificaciones de la norma NCh 433 y que no tenían defectos constructivos evidentes, respondieron en la forma esperada, sin daños de importancia.

Una vez más se hizo evidente la necesidad de buenos estudios de suelos y la consideración de la amplificación del movimiento sísmico en suelos blandos.

La norma NCh 433, Cálculo Antisísmico de Edificios.

En mayo de 1966, al ser aprobada como Norma Provisional, la NCh 433 reemplazó los artículos de la Ordenanza relativos a las sollicitaciones sísmicas en edificios. Transcurrieron más de trece años desde que se constituyó la comisión para el estudio de la norma (enero, 1959) y su aprobación final como Norma Oficial (octubre, 1972). Este largo lapso de tiempo se debe fundamentalmente a que la ingeniería sísmica es una especialidad en pleno desarrollo, en la cual existen todavía muchas incógnitas por resolver. Así lo reconoce una observación con que fue aprobada por el Consejo de INDITECNOR. *"El estado actual de la Ingeniería Antisísmica permite prever la necesidad de revisiones periódicas de la presente norma"*.

La NCh 433 tiene como alcance la determinación de las sollicitaciones sísmicas en edificios en general, pero no es aplicable a obras civiles que se apartan del concepto normal de edificio. Establece, como otras normas, dos métodos diferentes de análisis: el método estático equivalente y el método dinámico modal.

El método estático, se determina primeramente el esfuerzo de corte basal mediante la expresión

$$Q_0 = k_1 k_2 C P, \text{ donde}$$

- k_1 = coeficiente de uso (puede ser 0.8, 1.0 ó 1.2)
- k_2 = coeficiente de estructuración (puede ser 0.8, 1.0 ó 1.2)
- C = coeficiente sísmico, función del período fundamental del edificio y del tipo de suelo (ver figura 1).
- P = peso total del edificio más porcentaje de la sobrecarga de cálculo.

Una vez determinado Q_0 se calculan las fuerzas en altura según la siguiente fórmula, determinada como envolvente de resultados de análisis dinámico lineal de edificios regulares de altura media:

$$F_k = \frac{P_k A_k}{\sum_{j=1}^n P_j A_j} Q_0$$

con P_k = peso del piso de orden k

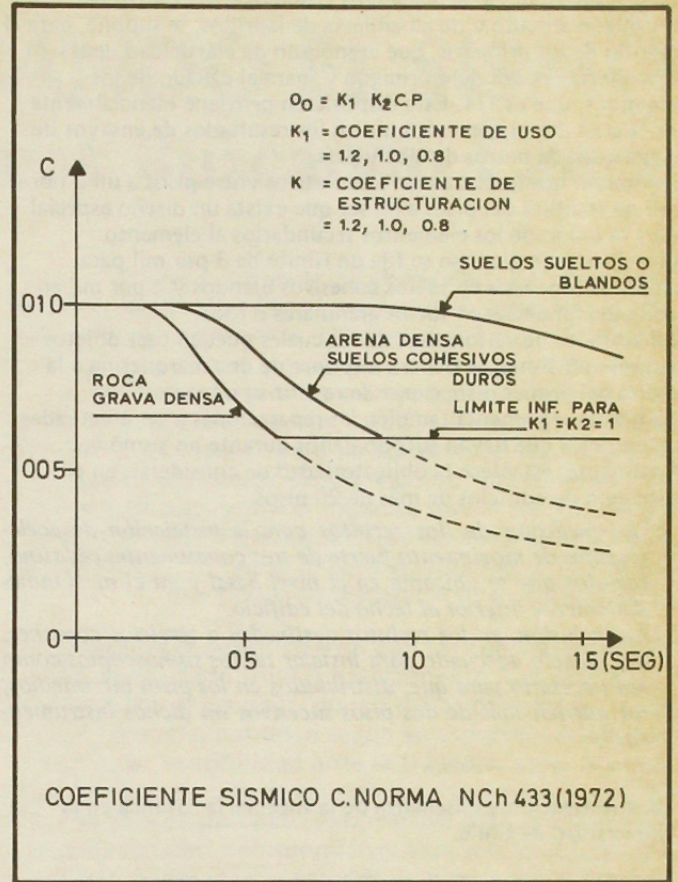
$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{H}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{H}}$$

donde H es la altura total del edificio y Z_k es la altura del piso de orden k .

La norma fija, indirectamente, restricciones a la estructuración del edificio para evitar los casos de grandes esfuerzos por torsión, al exigir que en cada elemento el esfuerzo debido solamente al efecto de torsión no sobrepase al esfuerzo

proveniente de la distribución de fuerzas restringiendo la rotación de los diafragmas de pisos.

El segundo método de análisis, llamado dinámico, consiste en concentrar las masas del edificio a los pisos y hacer un análisis modal usando como espectro de aceleraciones el coeficiente C del método estático multiplicado por la aceleración de gravedad.



Un capítulo importante de la norma se refiere a exigencias de estructuración, de las cuales se mencionarán solo las que se

Valle del Choapa, 1971. Vaciamiento de albañilería.



consideran más interesantes y que no se encuentran en todas las normas.

Para la separación entre edificios colindantes se fija el mayor valor de:

3 cm.

6 veces el desplazamiento de cálculo

0.2% de la altura

Para la distribución de esfuerzos sísmicos entre muros de hormigón armado y de albañilería de ladrillos, se supone, para el cálculo de los primeros, que el módulo de elasticidad de las albañilerías es 1/8 del hormigón y, para el cálculo de los segundos, que es 1/4. Esta disposición proviene esencialmente de la gran dispersión existente en los resultados de ensayos de elasticidad de muros de albañilería.

Se limitan los desplazamientos relativos entre pisos a un 2 por mil de la altura del piso, a no ser que exista un diseño especial para la unión de los elementos secundarios al elemento principal, en cuyo caso se fija un límite de 3 por mil para edificios fundados en suelos cohesivos blandos y 4 por mil en edificios fundados en suelos granulares o roca.

En edificios de varios pisos de los cuales pueden caer objetos durante un sismo, se deberá disponer de una marquesina a la altura del primer piso, capaz de resistir su impacto.

La norma reglamenta también las reparaciones a ser efectuadas en edificios que hayan sufrido daños durante un sismo y, finalmente, establece la obligatoriedad de considerar, en el proyecto de edificios de más de 20 pisos:

"a) La inclusión de dos recintos para la instalación de acelerógrafos de movimiento fuerte de tres componentes cada uno, recintos que se ubicarán en el nivel basal y en el nivel inmediatamente inferior al techo del edificio.

b) La inclusión, en los recintos destinados a servicios comunes, del espacio adecuado para instalar tantos sismoscopios como sea necesario para que, distribuidos en los pisos intermedios, no queden más de dos pisos sucesivos sin dichos instrumentos".

La investigación y enseñanza de la Ingeniería Sísmica en la Universidad de Chile.

La investigación en Chile está virtualmente centrada en las universidades. De ellas, la mayor es la Universidad de Chile, en cuya Escuela de Ingeniería se han formado más de la tercera parte de los ingenieros chilenos. Ingenieros civiles se forman también en la Universidad Católica, la Universidad Técnica Federico Santa María, la Universidad Técnica del Estado y la Universidad de Concepción. La investigación en Ingeniería Sísmica se centra en las Universidades de Chile y Católica de Santiago y la Universidad Federico Santa María de Valparaíso. La Universidad de Chile tiene el Instituto de Sismología, el Departamento de Ingeniería Civil, con su Sección Ingeniería Estructural, donde trabajan 10 académicos jornada completa, muchos de ellos en proyectos de investigación en el área de ingeniería sísmica, el Departamento de Ciencias de los Materiales (IDIEM), donde se realizan estudios de mecánica y dinámica de suelos y de hormigones, y el Departamento de Geología. Estos cuatro departamentos mantienen desde hace varios años un programa regular de postgrado en ingeniería sísmica. La carrera de Ingeniería Civil mención Estructura tiene cursos regulares de diseño antisísmico desde el año 1965. La Universidad ha participado activamente en las comisiones de estudio de normas oficiales relacionadas con el diseño sismorresistente. En estos momentos se encuentra apoyando el desarrollo y revisión de 3 normas básicas: la Nch 433, la norma de cálculo de hormigón armado y la norma de diseño de albañilerías armadas y reforzadas.

Las investigaciones sísmicas en el Departamento de Ingeniería Civil se han centrado principalmente en los siguientes aspectos: estudios de riesgo sísmico y caracterización de terremotos nacionales; recolección de información mediante la mantención de una red de acelerógrafos de movimiento fuerte, en conjunto con el Departamento de Geofísica y gracias, en parte, a un convenio entre la Universidad de Chile y la Universidad de California y a un proyecto financiado por la OEA; estudios de

sistemas de aislación sísmica. determinación experimental de propiedades dinámicas de estructuras mediante instrumentación en terreno, y modelación de edificios altos para fines de análisis, mediante modelos a escala reducida y modelos analíticos de barras y elementos finitos. En el IDIEM, las investigaciones principales han estado centradas en dinámica de suelos, en especial, compactación de arenas, estabilidad de taludes y propiedades dinámicas de suelos. Otras investigaciones han estado ligadas a la resistencia de albañilerías para cargas horizontales, tanto en su plano como fuera de él y a la resistencia de conexiones de hormigón armado.

Como resultado de la mantención de la red de acelerógrafos, por primera vez se ha obtenido, luego del sismo de 1985, una gran cantidad de registros instrumentales, información valiosísima para cualquier estudio de ingeniería sísmica que se proyecte hacer en el futuro. Esta información ha despertado interés a nivel mundial.

La labor de las Universidades ha sido fundamental en la creación de conciencia sísmica en los profesionales que en ella se forman, quienes luego han ido a desempeñarse en las diferentes actividades del país, despertando, a su vez, la inquietud de sus compañeros de trabajo. Los sismos que han sacudido periódicamente el territorio nacional han mantenido siempre latente la preocupación y han justificado, económicamente, la inversión hecha en estudios de protección sísmica.

REFERENCIAS

1. Del Canto, Hermógenes y otros, "Informe de la Comisión Gubernativa sobre los efectos producidos por el terremoto de enero de 1939", partes I y II, junio de 1939.
2. Flores, Rodrigo, "Engineering Aspects of Chilean Earthquakes of May 21 and 22, 1960", II WCEE, Japan, 1960.
3. Monge, Joaquín, y otros, "Sismo del 28 de marzo de 1965, Chile. Informe de daños". Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Vol. 22-27/Año 1965-66, pp. 62-82.
4. Sarrazin, Mauricio, "Regulaciones Sismorresistentes, la experiencia chilena", Boletín Técnico N° 64, enero-junio 1979, Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), Universidad Central de Venezuela.