

Bruno Elsner, Jorje Ewerbeck y Gustavo Lira.

## **Informe sobre las normas de cálculo y construcción que deben contemplarse en los proyectos de las obras públicas, considerando los perjuicios que pueden producir los temblores.**

**S**OLO desde hace poco tiempo atrás son del dominio de un círculo más extenso de interesados los principios fundamentales deducidos por los sísmólogos de la observación sistemática de los temblores.

No sólo entre los profanos sino aún entre los ingenieros se oye decir a menudo que los temblores son desgracias debidas a fuerza mayor a cuyos efectos, nada de lo que se encuentra en su zona de influencia, puede escapar.

Esta opinión queda reforzada por las descripciones de terremotos de grado catastrófico, según las cuales, casas completas han desaparecido dentro de anchas grietas que se han abierto en la superficie terrestre, y los derrumbes de las montañas han aplastado aldeas enteras.

Pero, no se debe olvidar que tales trastornos profundos de la corteza terrestre, contra los cuales el hombre es impotente, sólo motivan una pequeña parte de las destrucciones causadas por estos fenómenos.

En efecto, en el terremoto más fuerte ocurrido en época histórica, el que se produjo el 1.º de Septiembre de 1923 en el Japón Central, fueron destruidas completamente o gravemente dañadas unas 250 000 casas. Las pocas grietas que en la corteza terrestre se produjeron entonces, no causaron la ruina de ningún edificio. Los derrumbes desprendidos de las montañas sólo destruyeron un barrio en Yokohama y algunas aldeas en las montañas. La gran mayoría de las destrucciones fué debida a la insuficiente rigidez lateral de las construcciones para resistir a los sacudimientos transversales provocados por los temblores.

El problema fundamental que debe resolverse para conocer y prever el efecto de los temblores en las construcciones, es por consiguiente, la determinación de la magnitud probable de los sacudimientos que pueden desarrollar los futuros temblores.

Los sacudimientos verticales son en general de menor importancia que los horizontales exceptuando la zona inmediata al epicentro del temblor, en donde el movimiento vertical es preponderante. Las fuerzas desarrolladas por el temblor actúan, por lo general, en una dirección que forma un ángulo agudo con la superficie terrestre, de modo que la magnitud de la componente vertical alcanza sólo a una fracción del valor de la componente horizontal.

Los sacudimientos verticales desarrollan, por consiguiente, en la generalidad de los casos, sollicitaciones suplementarias a las producidas por el peso propio y las sobrecargas y no alcanzan a causar perjuicios en las obras.

La base para efectuar el cálculo de las construcciones la constituyen los valores sísmicos, debiendo establecerse ante todo una escala de intensidades con relación a la cual se fijan los coeficientes sísmicos.

No habiéndose hecho en Chile observaciones y estudios sistemáticos sobre temblores hemos fundado principalmente nuestro estudio en la obra «La Sismología Geofísica y Aplicada» del doctor Augusto Sieberg, profesor de la Universidad de Jena y en las publicaciones, del ingeniero Rudolf Briske, obras que pueden considerarse como las mejores en la materia.

\* \* \*

El doctor Sieberg basa sus estudios en las experiencias más modernas y en los estudios científicos de los sismólogos italianos y japoneses, de modo que se puede tener entera fé en sus deducciones, a pesar de las divergencias que existen con respecto a la explicación de la causa original de los terremotos, cuestión que por lo demás no interesa para el cálculo de las construcciones.

Hasta los últimos años se ha usado con preferencia la escala de «Rossi-Forel», sustituida en 1897 por la de «Mercalli». Pero esta última suficiente para temblores de mediana fuerza, falla para terremotos fuertes, razón por la cual, Cancani propuso agregar a la escala Mercalli, dos grados más para sacudimientos muy fuertes.

Para terremotos destructores es preferible la escala «Omori» pero, por ser estudiada especialmente para las circunstancias propias del Japón, resulta de difícil aplicación en otros países.

Más nueva y poco conocida es la escala de «Wood» que toma en cuenta las experiencias del terremoto de San Francisco de 18 de Abril de 1906.

Todas las escalas nombradas, con excepción de las dos últimas, se limitan a definir en forma demasiado breve los diversos grados de intensidad. Por eso resultan numerosos y grandes los errores que se hicieron en algunos de los antiguos estudios de terremotos.

Pero, como no puede reemplazarse por otras mejores, no queda otro camino que perfeccionarlas en cuanto sea posible. Ensayos del doctor Sieberg en este sentido han tenido resultados satisfactorios.

Varios especialistas sismólogos, Reid, Navarro, Neumann, Galitzino y otros, han establecido escalas para clasificar los terremotos según su efecto dinámico.

H. F. Reid, a insinuación de A. C. Lawson, aprovechó la escala de Mercalli y de Rossi-Forel y las amplió tomando en cuenta la importante influencia del subsuelo, introduciendo para este efecto los llamados «coeficientes del subsuelo».

En el cuadro adjunto se indican los valores correspondientes deducidos del terremoto de San Francisco del 18 de Abril de 1906. Sieberg estableció un cuadro análogo fundado en las observaciones del terremoto de «Schwabisch Alp» del 19 de Noviembre de 1911.

RELACIONES ENTRE LOS EFECTOS APARENTES Y VERDADEROS Y COEFICIENTES DEL SUBSUELO

| Lugar                                                                   | Efecto aparente                        |      | Efecto verdadero                       |      | Coeficiente del subsuelo | Clase del subsuelo | Coeficiente sísmico<br>$\varepsilon = \frac{a}{g}$ |           |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------|----------------------------------------|------|--------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|-----------|
|                                                                         | Escala Mercalli<br>mm/seg <sup>2</sup> |      | Escala Mercalli<br>mm/seg <sup>2</sup> |      |                          |                    | aparente                                           | verdadero |
| San Francisco. Terremoto catastrófico del 18—IV—1906. Según H. F. Ried. |                                        |      |                                        |      |                          |                    |                                                    |           |
| Salinas .....                                                           | X½                                     | 2000 | VII                                    | 125  | 10                       | aluvial            | 115                                                | 1180      |
| San José .....                                                          | X½                                     | 2000 | VIII                                   | 300  | 7                        | *                  | 115                                                | 1133,3    |
| Santa Rosa .....                                                        | XI                                     | 2500 | X                                      | 1200 | 2                        | *                  | 114                                                | 118,33    |
| Ukiah .....                                                             | IX½                                    | 1200 | VIII                                   | 250  | 5                        | *                  | 112                                                | 1140      |
| Willits .....                                                           | X½                                     | 2000 | VIII                                   | 250  | 6                        | *                  | 115                                                | 1140      |
| Clear Lake .....                                                        | IX½                                    | 1200 | VIII½                                  | 200  | 8                        | *                  | 112                                                | 1150      |
| Priest Valley .....                                                     | VIII                                   | 300  | VII                                    | 100  | 3                        | *                  | 110                                                | 11100     |
| Sacramento .....                                                        | VIII½                                  | 200  | VII                                    | 125  | 2                        | *                  | 1150                                               | 1180      |
| Los Baños .....                                                         | VIII½                                  | 200  | VII                                    | 125  | 16                       | *                  | 1150                                               | 1180      |
| Oeste del Valle Joaquin                                                 | X                                      | 1600 | VII                                    | 125  | 12                       | *                  |                                                    |           |
| Schwabische Alp. terremoto destructor del 16—XI—1911. Según A. Sieberg. |                                        |      |                                        |      |                          |                    |                                                    |           |
| Riedlingen .....                                                        | VII                                    | 100  | V                                      | 25   | 4                        | aluvión de río     |                                                    |           |
| Saulgan .....                                                           | VII½                                   | 75   | V                                      | 25   | 3                        |                    |                                                    |           |
| Buchau .....                                                            | VIII½                                  | 200  | V                                      | 25   | 8                        |                    |                                                    |           |
| Mengen .....                                                            | VI                                     | 65   | V                                      | 25   | 2½                       | ripió              |                                                    |           |
| Messkirch .....                                                         | VII                                    | 100  | V                                      | 25   | 4                        | Molasse del-       |                                                    |           |
| Gohrenberg .....                                                        | V½                                     | 40   | V                                      | 25   | 1½                       | gado sobre         |                                                    |           |
| Altai .....                                                             | VIII½                                  | 200  | V                                      | 25   | 8                        | roca arenisca      |                                                    |           |
|                                                                         |                                        |      |                                        |      |                          | Molasse pro-       |                                                    |           |
|                                                                         |                                        |      |                                        |      |                          | funda orillas      |                                                    |           |
|                                                                         |                                        |      |                                        |      |                          | del lago.          |                                                    |           |

En estos cuadros se llama «efecto aparente» del terremoto, el efecto observado y medido, y «efecto verdadero» el efecto que resultaría en roca sana, maciza y completamente cristalina. La razón entre ambos efectos es el coeficiente del subsuelo.

Haciendo igual a 1 el valor de la acción sísmica sobre roca sana y cristalina se obtiene para el coeficiente del subsuelo los siguientes valores:

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| Para piedra arenisca.....         | 1 a 2,4    |
| Para arena suelta.....            | 2,4 a 4,4  |
| Para terrenos de relleno .....    | 4,4 a 11,6 |
| Para terreno fangoso y turba..... | 12         |

En los puntos próximos a fallas sísmicas nuevas, sobre todo en los puntos de cruzamiento de dos fallas puede observarse a menudo un aumento considerable del efecto sísmico. Este efecto varía igualmente con la distancia del punto de observación al epicentro del temblor.

Las escalas de Omori y de Cancani son las primeras que han definido en valores absolutos la intensidad de los temblores, por medio del valor máximo de la aceleración del movimiento vibratorio que constituye el temblor. Esta aceleración dividida por el valor de la aceleración de la gravedad constituye el coeficiente sísmico  $\epsilon$  del sacudimiento.

De acuerdo con las observaciones expuestas y a falta de observaciones directas nos hemos fundado en la escala formulada por Sieberg, la que se basa como hemos dicho, en la de Mercalli-Cancani, para fijar coeficientes sísmicos que podrán servir para el cálculo de las construcciones.

Sieberg establece 12 grados de intensidad para los temblores con aceleraciones que crecen desde 2,6 a 5 mm/seg<sup>2</sup>. hasta 5 000 mm/seg<sup>2</sup>. y más.

Según Cancani puede establecerse la siguiente relación: entre el grado de intensidad y el coeficiente sísmico.

|                      |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Grado de intensidad: | 2.º | 3.º | 4.º | 5.º | 6.º | 7.º | 8.º |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

|                                     |                  |                  |                  |                 |                 |                 |                |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Valor correspondiente de $\epsilon$ | $\frac{1}{4000}$ | $\frac{1}{2000}$ | $\frac{1}{1000}$ | $\frac{1}{400}$ | $\frac{1}{200}$ | $\frac{1}{100}$ | $\frac{1}{40}$ |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|

|     |    |    |    |
|-----|----|----|----|
| 9.º | 10 | 11 | 12 |
|-----|----|----|----|

|                |                |               |               |           |
|----------------|----------------|---------------|---------------|-----------|
| $\frac{1}{20}$ | $\frac{1}{10}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2}$ | a 1 y más |
|----------------|----------------|---------------|---------------|-----------|

Un temblor de grado 2.º no se nota sin aparato registrador. En cambio un temblor del grado 7.º con un coeficiente sísmico igual a  $\frac{1}{100}$  ya alcanza a causar daños en algunos edificios.

Como se ha dicho, es necesario prever la aceleración sísmica probable de los temblores que se producirán en el futuro para tomar las medidas que conducen a evitar daños en las construcciones.

En algunos países se ha establecido una red de observatorios sismológicos ubicados en los puntos en que los temblores se han producido con mayor frecuencia o en los lugares en que se proyectan construcciones de importancia.

A falta de estos observatorios deben aprovecharse las observaciones y experiencias recogidas en otros países en que se han podido determinar los efectos que temblores, cuyas aceleraciones han sido medidas, han producido sobre las distintas clases de obras construídas sobre diversas clases de subsuelo.

ESCALA DETALLADA PARA FIJAR EL GRADO DE INTENSIDAD DE TEMBLORES, BASADA EN LA ESCALA MERCALLI-CANCIANI Y REFORMADA POR A. SIEBERG

*Grado 1.º Insensible.*—La aceleración  $a$  es de 2,5 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\varepsilon = \frac{1}{4000} \quad \text{Se nota solo con instrumentos.}$$

*Grado 2.º Muy suave.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 2,6 mm|seg<sup>2</sup> y 5 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{3850} < \varepsilon < \frac{1}{2000}$$

*Grado 3.º Suave.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 5 mm|seg<sup>2</sup> y 10 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{2000} < \varepsilon < \frac{1}{1000}$$

Aun en sitios muy poblados sólo una reducida parte de la población siente el temblor en igual forma como si pasara un vehículo pesado.

*Grado 4.º Regular.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 11 y 25 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{1000} < \varepsilon < \frac{1}{400}$$

*Grado 5.º Más que regular.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 26 y 50 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{400} < \varepsilon < \frac{1}{200}$$

*Grado 6.º Fuerte.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 51 y 100 mm|seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{200} < \varepsilon < \frac{1}{100}$$

Todos sienten el temblor con alarma y muchas personas abandonan sus habitaciones; algunas temen perder el equilibrio y caer. Los líquidos se agitan fuertemente; los cuadros colgados en las paredes caen, los libros se tumban en los estantes, vidrios y lozas se rompen; algunos muebles se mueven de su sitio o se tumban. En algunos edificios, aún en los de mejor construcción, se producen finas trizaduras en el estuco el que en parte se desprende de los cielos y de los muros. En casas de calidad inferior los daños ya son mayores, aún cuando siempre quedan de poca importancia.

*Grado 7.º Muy fuerte.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 101 y 250 mm/seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{100} < \varepsilon < \frac{1}{40}$$

En el amoblado de las casas se producen apreciables perjuicios, aún los muebles más pesados se tumban. Se forman olas en los ríos, lagunas y lagos y las aguas se ponen turbias debido al fango removido. Numerosas casas de construcción corriente sufren daños de poca importancia, como trizaduras en los muros y cielos; se caen las tejas de la techumbre y las cornizas de torres y de casas altas. Algunas construcciones mal ejecutadas y más todavía, construcciones en mal estado sufren perjuicios más graves, sobre todo las construcciones de adobe y los muros de piedra en seco.

*Grado 8.º Destructor.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 251 y 500 mm/seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{40} < \varepsilon < \frac{1}{20}$$

Los troncos de los grandes árboles, sobre todo de palmeras oscilan fuertemente o se tronchan. Hasta los muebles más pesados se mueven de su lugar, se tumban; estatuas y monumentos giran en su lugar o se caen; los muros y cierros se trizan o se desploman. El relleno de las paredes de los edificios de esqueleto metálico o de madera se cae. Casas corrientes de madera son desplazadas de su lugar o tumbadas. Casas de construcción sólida sufren casi todas perjuicios graves en forma de grandes trizaduras muy abiertas. Algunas quedan parcialmente destruídas. Las torres de las iglesias y chimeneas de fábricas sufren perjuicios casi sin excepción. Se producen grietas en los faldeos de los cerros y en los terrenos húmedos, de estos últimos brota a veces agua mezclada con arena y fango.

*Grado 9.º Devastador.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 501 hasta 1000 mm/seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{20} < \varepsilon < \frac{1}{10}$$

Casas de construcción sólida, de buena albañilería de ladrillo sufren daños de tal magnitud que gran número de ellas quedan en estado inhabitable o se derrumban en gran parte o completamente. Construcciones de estructura de esqueleto quedan removidas hasta sus fundaciones y en gran parte deformadas. Las construcciones consideradas asísmicas en cuanto son construídas de albañilería de ladrillo sufren daños considerables.

*Grado 10. Desastador en grado superior.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 1001 y 2500 mm/seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{10} < \varepsilon < \frac{1}{4}$$

La mayor parte de las construcciones de albañilería de ladrillo corriente y las de estructura de esqueleto con relleno de ladrillos quedan destruídas hasta sus fundaciones, aún las de ladrillos de primera clase muestran grietas peligrosas. También las construcciones de madera bien hechas y los puentes sufren daños graves o son destruídos totalmente. Los diques y terraplenes sufren perjuicios más o menos graves; las vías de ferrocarril son encorvadas; se rompen las cañerías de gas, agua y alcantarillado. En el adoquinado se producen grietas, también en el asfalto se producen fuertes ondulaciones horizontales. En los suelos húmedos aparecen grietas hasta varios decímetros de ancho. A lo largo de los esteros, ríos y canales se abre el terreno formando anchas grietas. En los faldeos se desliza el terreno suelto y aún se desprenden grandes masas de roca. El agua de los ríos, canales y lagos es lanzada a las orillas.

*Grado 11. Catastrófico.*—La aceleración  $a$  queda comprendida entre 2501 y 5000 mm/seg<sup>2</sup>.

$$\frac{1}{4} < \varepsilon < \frac{1}{2}$$

De las construcciones de albañilería de ladrillo casi nada queda en pie. De las casas de madera bien construídas y de ranchos hechos de tejido de totora u otro material semejante, pocas resisten sobre todo en la proximidad de fallas sísmicas. Diques, terraplenes y tranques se cortan y se destruyen en grandes extensiones; las vías de ferrocarril son considerablemente encorvadas; y desplazadas; las conducciones de agua y de gas quedan cortadas e inutilizadas. En suelos blandos y húmedos se producen grandes dislocaciones verticales y horizontales. Los derrumbes de tierra y de roca son numerosos.

*Grado 12. Catastrófico en grado mayor.*—La aceleración  $a$  es de 5 000 y más mm/seg<sup>2</sup>.  $\frac{1}{2} < \varepsilon$  hasta 1 y más. No resiste ninguna obra humana. Se producen deformaciones y desplazamientos verticales y horizontales tanto en terreno suelto como en terreno firme. Los ríos desvían su curso; se forman nuevos ríos, lagos y saltos de agua y se modifica apreciablemente la configuración de la superficie terrestre en la zona afectada.

\* \* \*

Para fijar ideas conviene establecer que el grado 11 de esta escala con una aceleración de 2501 hasta 5000 mm seg<sup>2</sup> y con  $\frac{1}{4} < \epsilon < \frac{1}{2}$  corresponde a la catástrofe en el Japón en 1925 en terreno blando aluvial y el grado 9.º con una aceleración de 501 hasta 1000 mm seg<sup>2</sup>. y  $\frac{1}{20} < \epsilon < \frac{1}{10}$  al mismo temblor en terreno de roca firme o de tosca y arcilla dura. El grado 8.º con una aceleración de 251 hasta 500 mm/seg<sup>2</sup> y  $\frac{1}{40} < \epsilon < \frac{1}{20}$  corresponde aproximadamente al terremoto de Valparaíso de 1906 y al de Talca y Constitución de 1.º de Diciembre de 1928. Debe tomarse en cuenta naturalmente la clase de subsuelo y a este efecto debe considerarse que tanto en 1906 en Valparaíso como en 1928 en Talca, la catástrofe ha sido más grande donde el terreno era de relleno de arena, o en general, terreno suelto. También es un hecho comprobado que gran número de construcciones destruidas, lo han sido porque estaban mal ejecutadas, con un material de mala calidad y conviene recordar también que las construcciones de adobe pierden su resistencia con el trascurso del tiempo debido a que la paja se pudre poco a poco, aún por la acción de la humedad del ambiente.

Confirma este hecho el informe de peritos de Estados Unidos sobre la catástrofe en Santa Bárbara, California, el que dice a este respecto: «La catástrofe se debe en primer lugar al material malo que se ha elegido; a la mala concepción de los proyectos y a la mala ejecución de la obra» y agrega, que uno de los huracanes que debe tomarse en cuenta en esa región, habría sido suficiente para producir los mismos efectos.

Tomando en debida cuenta las circunstancias expuestas, resulta de lo anterior que se puede aceptar como base de cálculo, pero terrenos de calidad inferior, semejantes a los de Concepción, Viña del Mar y ciertas partes de Valparaíso, para los cuales se puede admitir una presión de 2 Kg. por cm<sup>2</sup> una aceleración sísmica de 1000 mm seg<sup>2</sup>, que corresponde a  $\epsilon = 1/10$  y para terrenos firmes como el mejor suelo de Santiago, el que admite una presión de 6 Kg cm<sup>2</sup> una aceleración sísmica de 500 mm/seg<sup>2</sup> correspondiente a  $\epsilon = 1/20$ .

Para construcciones muy importantes, de subido valor, como ser por ejemplo, los tranques, puede aceptarse un  $\epsilon = 1/10$  aún cuando estas obras estén construídas en roca firme y sin fallas.

Una vez determinado el valor que en cada caso debe atribuirse al coeficiente sísmico, tanto para terrenos movedizos y firmes y obras corrientes, es necesario establecer las normas de construcción a que deben sujetarse los edificios y obras de ingeniería para obtener en ellas las condiciones de estabilidad asísmicas satisfactorias que al mismo tiempo consideren debidamente la economía.

\* \* \*

El efecto de los temblores sobre las construcciones equivale a la acción de determinados fuerzas que actúan en dirección horizontal aplicadas en el centro de gravedad de los diversos elementos y cuya magnitud es igual al producto de la masa de estos elementos por la aceleración sísmica, o bien al producto del peso de los elementos por el coeficiente sísmico.

La obra debe calcularse para que pueda transmitir en condiciones satisfactorias estas fuerzas, desde su punto de aplicación hasta el terreno de fundación.

Conviene considerar que no es probable que el temblor se produzca en un momento en que actúe la presión máxima del viento para la cual la obra debe calcularse. Se justifica, en consecuencia, la verificación de la obra considerando sólo las más desfavorables de estas fuerzas.

En las obras de ingeniería debe prestarse especial atención al peligro de posibles desplazamientos cuando la obra quede ubicada en terreno de pendiente pronunciada o próxima a un barranco o a un curso de agua. Cuando el terreno es suelto, o de relleno no bien asentado aún, o bien cuando contiene planos de fallas, fácilmente se producen dislocaciones que acarrearán la destrucción parcial o total de la obra.

Los puentes ofrecen la circunstancia favorable que la sobrecarga móvil actúa únicamente durante breves momentos. Siendo poco probable que un temblor actúe en el momento en que un tren o un vehículo pesado cruce el puente, podrán calcularse estas obras con un coeficiente sísmico menor.

En cambio, en obras como tranques y especialmente muros de sostenimiento de tierra y de revestimiento en que la acción de las fuerzas solicitantes es permanente, debe calcularse con el máximun de seguridad.

En todo caso, antes de iniciar la construcción de una obra, debe realizarse un prolijo examen del terreno de fundación, tomando en debida consideración su naturaleza, resistencia y su mayor o menor homogeneidad.

*Fundaciones.*—En los edificios se ha observado que las fundaciones adecuadamente construidas resisten a los temblores aún cuando no se hayan consultado al efecto disposiciones de construcción especiales. En el terremoto del Japón del año 1923 las fundaciones de gran número de edificios derrumbados no sufrieron perjuicios de consideración y sirvieron nuevamente para la reconstrucción de la obra.

Esto se explica, considerando que la fundación de un edificio construido según los sistemas en uso, es apta por lo general, para resistir las fuerzas horizontales desarrolladas por un temblor de intensidad corriente.

Cuando se quiere prevenir a la acción de un temblor de una fuerza extraordinaria, es conveniente unir entre sí las fundaciones aisladas por medio de vigas de concreto armado o por medio de muros transversales continuos. Así se evitan los desplazamientos y los volcamientos de las fundaciones aisladas, logrando que el conjunto de ellas quede inamoviblemente asentado y empotrado en el terreno.

Debe considerarse con especial atención la unión apropiada de la construcción en elevación con la fundación, especialmente si se usan materiales diferentes para una y otra parte de la obra.

Si el buen terreno está a alguna profundidad deberá usarse un pilotaje cuyos pilotes exteriores estarán inclinados hacia afuera, de manera que el conjunto adopte la forma de una escobilla.

Cuando la fundación no llega a buen terreno, debe aumentarse el coeficiente sísmico a su mayor valor. Conviene además consolidar el terreno de fundación rodeándolo de una tabla-estacado metálico permanente.

Si cerca de la obra existe un cauce de agua, o depresiones del terreno, debe considerarse la posibilidad de un deslizamiento del terreno en que la obra está fundada.

En los faldeos de cerros constituídos de material suelto, es preferible no construir.

*Edificios de adobe.*—Edificios de un piso, de espesores de muros no menores de 0,60 metros ejecutados en forma apropiada y protegidos de la humedad, especialmente en su base y en su coronamiento, ofrecen una suficiente seguridad contra los temblores.

La techumbre debe ser liviana y sus acciones de apoyo sobre los muros deben ser centradas y perfectamente verticales. El empuje horizontal que se puede desarrollar debe ser recogido convenientemente por medio de tirantes, y arriestramientos. Por lo demás, la resistencia de estas obras, disminuye con el transcurso del tiempo debido a que la acción destructora de la humedad no se puede eliminar.

*Edificios de madera.*—Los edificios de madera convenientemente arriestrados tienen una gran resistencia contra la acción de los temblores. Estos arriostros deben colocarse en los planos de las paredes, muros, suelos y techos. Los ensambles y uniones deben realizarse con pernos, con preferencia a los clavos. Las uniones de las soleras en las intersecciones con las paredes deben asegurarse con ángulos de fierro. El material de relleno de los tabiques debe estar convenientemente asegurado contra la caída por efecto del temblor.

Los edificios de madera tienen el grave inconveniente de su gran combustibilidad. Por este motivo sólo deben construirse de altura limitada y aislados de los edificios vecinos con muros corta-fuegos o por medio de espacios libres.

*Edificios de ladrillos.*—La resistencia de la albañilería de ladrillos a la acción de los temblores dependen la calidad del ladrillo, de la resistencia del mortero y de la obra de mano. Cuando todos estos factores han sido de primer orden y la obra está correctamente calculada, los edificios de ladrillos resisten en general en buenas condiciones a los temblores.

Se ha observado sin embargo, que cuando este material es empleado sin refuerzo alguno de agrieta con facilidad, debido a su reducida capacidad para recoger y transmitir los momentos de flexión y la fuerza de corte desarrollada por los temblores de intensidad más que regular.

La obra queda en condiciones de resistencia muy superiores si se refuerza con armaduras de fierro redondo o fierro plano, distribuídas convenientemente entre las hiladas de ladrillos y unidas a pilares de concreto armado colocados a distancias adecuadas.

*Edificios de concreto armado.*—Los edificios de concreto armado debidamente proyectados y construídos han resistido en buenas condiciones a los terremotos.

Debe evitarse en estas obras el número excesivo de columnas demasiado esbeltas.

Las fuerzas horizontales desarrolladas por el temblor deben distribuirse entre los muros y los pilares destinados a transmitirlos al terreno, en proporción a la rigidez de estos elementos.

*Edificios de acero.*—Las estructuras de acero convenientemente arriestradas son muy resistentes a la acción de los temblores. El arriostro se puede consultar en forma de triangulaciones o de marcos rígidos formados por los pilares y las vigas maestras de los suelos.

Un relleno de albañilería de ladrillo entre los pilares no da por sí solo la resistencia sísmica suficiente, salvo que su espesor sea muy grande, lo que hace anti-económico esta solución.

La estructura resistente de acero debe ser revestida de concreto o de otro material aislador para evitar la acción destructora del fuego en caso de incendio.

*Techumbres.*—Las techumbres deben construirse de modo que sólo ejerzan acciones de apoyo verticales y centradas sobre los muros. Para este efecto cualquier componente oblicuo deberá recogerse por medio de tirantes u otros dispositivos adecuados. Los muros deben estar calculados para resistir las fuerzas que las techumbres le transmiten. En ciertos casos resulta conveniente colocar arriostramientos especiales para transmitir las fuerzas horizontales a determinados puntos de la obra.

Las techumbres deben construirse tan livianas como sea posible.

Las tejas y otro material de cubierta deben ser firmemente asegurados a las costaneras y éstas a su vez a la estructura resistente de la techumbre para evitar su dislocación y ruptura por efecto del temblor.

*Puentes.*—Los puentes fundados en buen terreno y calculados y contruidos correctamente ofrecen, en general, suficiente seguridad contra los temblores.

Debe prestarse especial atención a las uniones y superficies de contacto de las diversas partes de la obra, a fin de evitar desplazamientos y dislocaciones. Es necesario armar los machones y estribos y asegurar la unión eficaz entre infraestructura y superestructura.

Los puentes en arco y los sistemas indeterminados en general resisten bien a los temblores, siempre que el terreno de fundación sea de buena calidad y no haya peligro de que se produzca desplazamientos permanentes de los apoyos de la obra.

La superestructura de la obra no requiere refuerzos especiales pues está calculada para resistir la acción simultánea de diversas fuerzas, las que con gran probabilidad no actuarán todas en el momento del temblor, dejando un margen de seguridad para recoger esta última acción.

*Líneas férreas y caminos.*—La resistencia de los terraplenes elevados a la acción de los temblores es reducida. Deben tomarse precauciones especiales al construir obras sobre estos terraplenes.

Es prácticamente imposible asegurar la estabilidad de vías férreas y caminos en las secciones en que estas vías recorren los flancos de las montañas, ya sea en corte completo o parte en corte y parte en terraplén. Estas secciones están amenazadas de ser destruidas por derrumbes, por rodados o por deslizamientos del terreno. Los muros de contención o revestimiento resultan ineficaces y ceden con frecuencia al empuje de la tierra.

El peligro se evita o se reduce, disminuyendo el talud de los cortes, reforzando las secciones de los muros o modificando el trazado de la vía en los trozos peligrosos, buscando terrenos más planos o entrando en túnel al interior de la montaña.

*Muros de sostenimiento y de revestimiento.*—La acción vertical de los temblores, por lo general de poca importancia en las obras de ingeniería debido a que actúa en igual sentido que el peso propio y a que su magnitud alcanza sólo a una fracción pequeña de la componente puede alcanzar a tener una importancia extraordinaria originando graves perjuicios, cuando aquella anula las fuerzas de rozamiento o de cohesión que son necesarias para la estabilidad de una obra.

Estas circunstancias pueden presentarse en muros de contención o de revestimiento especialmente en los contruidos de albañilería de piedra o de piedra en seco. Por este motivo es recomendable no tomar en cuenta en el cálculo el rozamiento en-

tre tierras y muros. Debe evitarse además el empleo de muros de revestimiento de piedra en seco. En los muros de albañilería de piedra debe cuidarse que las juntas queden perfectamente llenas con mezcla.

Las fuerzas oblicuas debe transmitirse del muro al terreno al través de escalones adecuadamente dispuestos en la base de la fundación o por intermedio de pilotes inclinados. No debe contarse para este objeto con el rozamiento entre la albañilería y el terreno.

*Tranques y represas.*—Estas obras han resistido satisfactoriamente a la acción de los temblores cuando su cálculo ha sido hecho correctamente y su construcción se ha llevado a cabo de acuerdo con las reglas del arte. Debe cuidarse que el terreno de fundación no se encuentre cruzado por planos de fallas.

*Túneles.*—Son las obras de ingeniería que relativamente mejor han resistido a la acción de los temblores. Los perjuicios observados se limitan a destrucciones en las bocas y pueden aminorarse con el empleo de concreto armado.

*Consideraciones económicas.*—Para alcanzar en la forma más económica la rigidez de un edificio deben distribuirse los muros de manera que ellos puedan recoger la acción de los temblores cualquiera que sea la dirección en que actúen. Debe limitarse en lo posible el número y dimensiones de los vanos de las puertas y ventanas, a fin de aprovechar en la mejor forma los muros en la transmisión de las fuerzas horizontales desarrolladas por el temblor.

A falta de muros rígidos habrá que disponer arriostramientos especiales en forma de sistemas triangulados y de marcos rígidos.

Los muros de ladrillos de grandes espesores calculados para transmitir las fuerzas horizontales del temblor resultan, en general, más costosos que las construcciones de concreto armado.

Admitiendo que la obra se ha calculado tomando todas las medidas de seguridad necesarias, de acuerdo con lo expresado más arriba, las construcciones más económicas son las de madera, siguen las de concreto armado por último, las de mayor costo son las de acero con revestimiento de concreto.

La construcción de madera es la más apropiada para casa de valor reducido, de uno o dos pisos. El concreto armado resulta la construcción más conveniente, tanto para los edificios de poca extensión y altura en que se exige una seguridad completa contra el fuego, como para las grandes construcciones destinadas a almacenes y fábricas. La estructura de acero con revestimiento de concreto ofrece las mismas seguridades sísmicas que caracterizan al concreto armado, además de otras ventajas de orden diferente.

La elección entre una estructura metálica revestida y el concreto armado, depende entre otros factores, del valor de los materiales y de la mano de obra.

*Conclusiones.*—Conviene tener presente los siguientes puntos de vista para asegurar la estabilidad sísmica de las construcciones.

La construcción debe calcularse para resistir en forma adecuada, además de las acciones del peso propio, sobrecarga y demás acciones secundarias y accidentales que se determinan en cada caso, una acción sísmica definida por el coeficiente sísmico. Este coeficiente puede fijarse en general entre los límites 0,05 y 0,10 según la calidad de suelo de fundación y la importancia de la obra.

La disposición general de la obra debe ser apropiada en su conjunto para resistir y transmitir en forma económica las fuerzas horizontales del temblor.

Las columnas aisladas y esbeltas deben evitarse. En su lugar se consultarán pilares de gran sección y muros macizos y continuos sin muchos vanos para puertas y ventanas. Los edificios de concreto armado y de acero con una altura de piso de 3 a 3,50 metros calculados con un coeficiente sísmico igual a 0,1 ofrecen también seguridad suficiente contra el peligro de la resonancia.

Las fundaciones deberán llevarse al buen terreno y si esto no es posible, el terreno deberá consolidarse por medio de un pilotaje o por un tabla-estacado que rodee la fundación.

Es preferible unir los macizos aislados de fundación con vigas de amarra, formando un emparrillado o una placa continua.

Debe asegurarse la continuidad y unión perfecta de la elevación de la obra con su fundación.

Es necesario proyectar en forma adecuada cada una de las partes de la construcción, cuidando con preferencia los nudos en las estructuras trianguladas y reforzando las uniones de los pilares con las vigas en los sistemas rígidos.

Los tabiques que no resisten cargas ni transmiten fuerzas horizontales deben construirse de un material liviano, convenientemente unidos a la estructura resistente.

Las cornisas, adornos y decoraciones son elementos de construcción peligrosa en caso de un temblor si no están convenientemente asegurados a la obra.

Los suelos deben ser livianos y se construirán con la suficiente resistencia para que puedan actuar como placas rígidas. Las vigas se harán de acción suficiente para procurar un empotramiento a los pilares.

Las techumbres serán livianas y de material incombustible. Sus secciones de apoyo deberán ser verticales y centradas.

Una medida de mucha importancia es la de asegurar la incombustibilidad del edificio, debiendo además tomarse todas las precauciones necesarias para evitar en caso de un siniestro la propagación del incendio a los edificios vecinos.

Es conveniente consultar juntas de separación entre cuerpos de edificios de período de oscilación diferente, salvo que se coloquen refuerzos especiales en esta parte de la construcción capaces de recoger las solicitaciones extraordinarias que ahí se desarrollan.