

Las obras de Ingeniería en las regiones expuestas a terremotos¹

II

Obras de ingeniería

Se reducirá lo que aquí se diga a ligeras indicaciones, como resultado del examen de algunos estudios y observaciones hechos a raíz del terremoto de 1923 por ingenieros japoneses. Varios de aquellos acompañan al citado artículo de Summers y otros figuran en la monografía de Briske, de la que se han tomado las figuras que ilustran esta nota.

1.º *Puentes.*—Las averías en esta clase de obras producidas por el terremoto de 1923 se debieron principalmente a desviaciones, agrietamientos y aun completa caída de pilas y estribos.

Las vigas metálicas sufrieron poco inicialmente, pero luego padecieron varias y aun cayeron algunas, al desviarse o caer sus soportes. Tampoco han padecido mucho las vigas rectas de hormigón armado, pero los puentes constituídos por arcos de mampostería, ladrillo u hormigón en masa sufrieron más, pues al desviarse los estribos se agrietaron, generalmente en el sentido longitudinal, lo que determinó la ruina de muchos.

El problema fundamental es, por consiguiente, obtener pilas y estribos que ofrezcan en su parte alta un grado de sismicidad suficientemente pequeño para que se mantengan en su sitio las vigas o arcos durante el terremoto. Cuando no pueda conseguirse un grado de sismicidad muy bajo en sus arranques, no será prudente el empleo de arcos de ladrillo o mampostería, y, aun cuando aquél sea pequeño, será preferible, caso de adoptar arcos, construirlos de hormigón armado. En todos los casos en los que haya alguna libertad para la ubicación, convendrá escogerla donde se sepa o presuma que las oscilaciones serán menores.

En los puentes sobre valles recubiertos de aluviones, si el terreno firme no se halla a profundidades exageradas, deberán llevarse hasta él las fundaciones que conviene que sean anchas, así como las pilas, lo que, además, reduce los peligrosos efectos de las resonancias durante los terremotos. Cuando los cimientos pueden quedar a poca profundidad es conveniente unir, por zampeados débilmente armados, las pilas y estribos, como expresa la figura 3.ª. Para ciertos puentes convendrá cimentar los

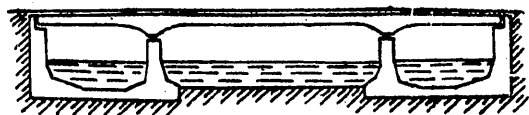


Fig. 3.ª Puente canal en Tokio.

apoyos sobre pilotes que lleguen al buen terreno, y en estos casos deberán enlazarse sólidamente sus cabezas e hincar inclinados los del contorno. En ciertos casos en que la roca firme se halla a bastante pro-

fundidad se habían construído varias pilas en los puentes japoneses anteriores al terremoto de 1923, según un sistema defectuoso, que consistía en hincar, por el procedimiento indio, dos columnas anulares de ladrillo, una del lado de aguas arriba y otra del de aguas abajo, con un diámetro igual a la anchura y ambas en el eje de la pila, llegando a veces de 9 a 15 m por debajo del lecho del río. Sobre dichas columnas se construía la pila, y como faltaba con frecuencia el sincronismo en las oscilaciones de aquéllas y el ladrillo no es material muy satisfactorio en regiones sísmicas, se cayeron varias pilas de este tipo. Ahora se recomienda para esta clase de cimientos el empleo de hormigón ligeramente armado y construir, en vez de dos, una gran columna, apoyada, si es preciso, en un cajón hincado por medio del aire comprimido.

Cuando el cimientto en roca compacta tendría que alcanzar profundidades económicamente inadmisibles, pueden construirse pozos como los anteriormente descritos, que sostendrán las pilas en virtud del rozamiento lateral con el terreno en que se hincan. Convendrá construirlos, como se ha dicho anteriormente, haciendo un solo pozo de hormigón armado para cada pila; pero a veces, con menores gastos, puede darse una mayor superficie lateral al cimientto, haciendo, como expresa la figura 4.ª, un ancho y profundo recinto, cerrado por tablestacas metálicas. Este procedimiento está extendiéndose por el

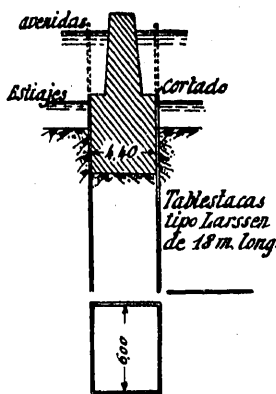


Fig. 4.ª Pila de un puente de ferrocarril sobre el río Toyo.

Japón, empleando distintos sistemas de tablestacas, entre las que suelen preferirse las recubiertas por una capa de cobre o que por otros procedimientos se procura hacer inoxidable.

En los viaductos largos convendrá establecer algunas pilas-estribos. Si son de escasa altura, según se comprobó en el ferrocarril urbano de Tokio, da buen resultado constituir, con pilas y vigas de hormigón armado, un conjunto recuadrado, y también es aceptable el empleo de pilas de hormigón armado soportando vigas rectas del mismo material o metálicas. Pero si la altura es grande conviene adoptar vigas metálicas en celosía, descansando, por intermedio de apoyos móviles, sobre pilas de hormigón armado o sobre pilas articuladas metálicas, pero no con las secciones que dan los cálculos ordinarios de resistencia, sino suficientemente gruesas y con elementos bien arriostrados entre sí, para aminorar en lo posible el grado de sismicidad en los apoyos de las vigas y evitar que se originen peligrosas resonancias.

Estas, que corresponden a la concordancia entre oscilaciones de igual período de la estructura y del

¹ Véase el número anterior, página 145

terreno, son afortunadamente poco frecuentes, porque como el período de los terrenos es de uno o más segundos, será preciso que la estructura tenga un período propio análogo, lo que sólo ocurre, según experimentos del profesor Hall, en San Francisco de California, para edificios muy altos. Pero aun con estructuras con período propio de uno o más segundos, como el examen de los sismogramas comprueba que los períodos de las consecutivas oscilaciones del terremoto no sólo no son iguales sino que varían mucho, la resonancia sólo podría producirse para el corto número de oscilaciones del terreno que tuviesen igual período que las propias de la estructura.

3.º *Desmontes y terraplenes, construcción de vías de comunicación, túneles.*— Difícil es obtener suficiente seguridad contra los efectos de los terremotos en los grandes desmontes y terraplenes, sin rebasar los límites económicamente prudentes. Lo mejor es construir las vías de comunicación, aun cuando sea preciso aumentar su coste inicial, evitando profundos desmontes y altos terraplenes, así como laderas, cuyos desprendimientos por efecto de las trepidaciones sísmicas, puedan originar serias dificultades.

En las trincheras y laderas de montañas se produjeron importantes corrimientos y desprendimientos durante el terremoto en el Japón, de 1923. Las rocas y tierras de aquéllas se agrietaron mucho en varios sitios, y, al penetrar por las grietas el agua de lluvia, reblandeció el asiento de masas no bien sustentadas, determinando el corrimiento de rocas y tierras y también inundaciones de fango.

En Nebukawa, en la línea férrea de Atami, un brusco corrimiento destruyó el edificio principal de la estación y derribó un tren, que cayó al mar, muriendo más de cien personas. Cerca del mismo sitio, una inundación de fango, que bajaba por el valle del río Shiraito, se llevó los tramos y pilas de un puente de unos 31 m de altura, con tres tramos metálicos de celosía de unos 42 m de longitud cada uno y cuatro de viga llena de 12 m. Pueden desaparecer o aminorarse catástrofes como las citadas, evitando que las aguas de lluvia reblandezcan el asiento de terrenos propicios a corrimientos, mediante el empleo de zanjas protectoras y otros procedimientos descritos en los tratados de Construcción y en los de Geología aplicada a la Ingeniería.

Para proteger contra la meteorización las rocas propensas a descomponerse que forman varias laderas, se han empleado en el Japón ciertos enlucidos, con éxito satisfactorio. En cambio, el revestimiento con ladrillos o losetas, tanto de las trincheras como de las márgenes de ríos y canales, ha dado malos resultados, pues los terremotos destruyen los revestimientos rígidos, y es mejor hacer plantaciones de arbustos y aun de césped si el grado sísmico no es muy grande.

Los terraplenes, como todos los materiales sueltos encima de suelos más compactos, aumentan la amplitud y período de las oscilaciones. En el repetido terremoto de 1923 muchos terrenos sueltos y echadizos se agrietaron longitudinalmente o sufrieron grandes remociones, especialmente cuando las oscilaciones eran normales a su longitud. Debe aconsejarse establecer las vías de comunicación con terraplenes de poca altura y emplear en ellos tierras de igual naturaleza que el suelo sobre el que insisten, construyéndolos por capas regadas y apisonadas,

para que adquieran la mayor compacidad. El balasto en los ferrocarriles debe igualmente escogerse y colocarse con precauciones, pues también es sísmicamente malo.

Para evitar ciertos desmontes y terraplenes podrá convenir en algunos casos sustituirlos por túneles y viaductos.

En los túneles los desperfectos no suelen ser grandes, porque las oscilaciones van decreciendo a medida que se profundiza bajo la superficie. La mayoría de las averías consisten en grietas en los revestimientos o en la roca, en las proximidades de las bocas, pero también hubo, en 1923, grietas en el interior de túneles donde había litoclasas o fallas, así como en sitios donde el terreno ofrecía un cambio brusco en su compacidad o cuando en el perfil por encima del subterráneo, se acusaban masas que sobresalían mucho sobre las que las rodeaban.

4.º *Muros, presas, diques.*— Los muros de contención tienen que soportar un considerable aumento en la presión ejercida por las tierras durante las trepidaciones debidas al terremoto, por lo que deben

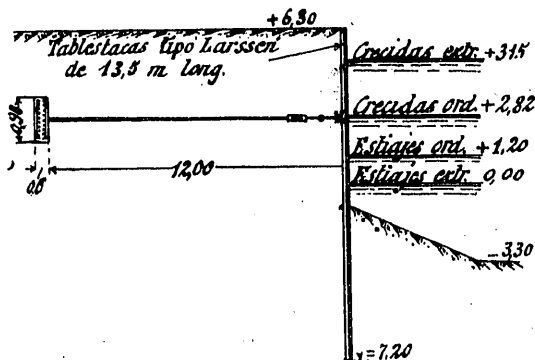


Fig. 5.º Tablestacados tipo Larssen para defensas de márgenes.

construirse con fuerte talud, amplia base y sólida cimentación, a ser posible, en terreno muy firme y de escaso grado de sismicidad. Los muros de acompañamiento de los estribos de puentes de ferrocarriles se desviaron hacia afuera en muchos casos, du-

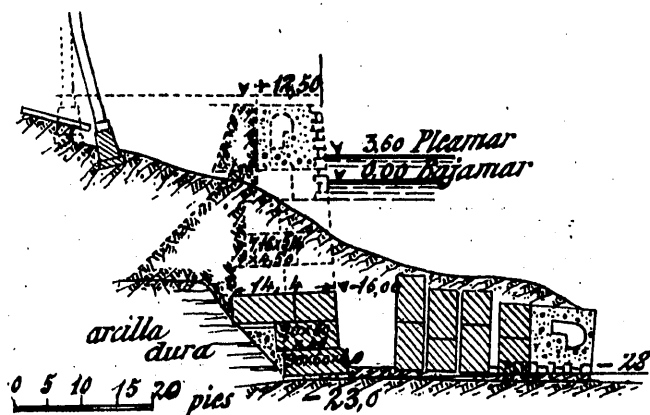


Fig. 6.º Muelle en Yokohama.

rante el sismo de 1923, en virtud de la presión de las tierras contenidas, las que se hundieron por efecto de aquellas separaciones entre estribos, dejando la vía al aire.

Cuando el terreno echadizo contenido por un muro puede apisonarse, no es necesario que el muro sea tan grueso. Y si se trata de márgenes de río o de canal será suficiente, en muchos casos, el empleo de

un tablestacado metálico con anclajes en el mismo terreno (fig. 5.^a), cuando éste sea bastante consistente o si está formado por un pedraplén bien apisonado. Conviene tener presente que el terremoto puede elevar los niveles en ríos y canales y en el mar producir olas considerables, como la que en 1923 alcanzó en Atami la altura de 12 m.

En el puerto de Yokohama, según el ingeniero encargado K. Koyanaga, unos 1 050 m del rompeolas se hundieron, quedando por bajo de la bajamar. Los muros de muelle, del tipo de muros de sostenimiento por gravedad y constituidos principalmente por grandes bloques de hormigón, fueron removidos o volcados, resultando en varios casos, como expresa la figura 6.^a, destruidos los muelles y tinglados. Varios de éstos se quemaron.

En las presas de tierra y de fábrica, además de aumentarse los espesores usuales, convendrá dispo-

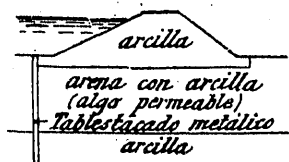


Fig. 7.^a Presa de tierra con cortina protectora.

ner en muchos casos cortinas de tablestacas metálicas que formen paredes algo flexibles e impermeables, semejantes a las representadas en las figu-

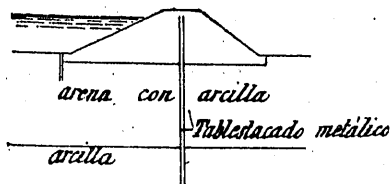


Fig. 8.^a Presa de tierra con núcleo de tablestacas.

ras 7.^a, 8.^a y 9.^a, que corresponden a obras construidas en el Japón.

5.^o Obras urbanas.—Las pavimentaciones de las

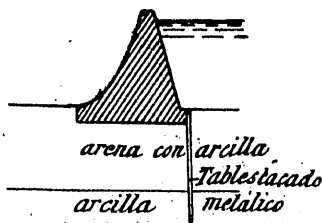


Fig. 9.^a Presa de fábrica con cortina protectora.

vías urbanas sufren menos cuando descansan sobre una capa algo gruesa de hormigón, pero siempre pa-

decen bastante cuando el grado de sismicidad es elevado.

Cuando la traída de aguas a la ciudad se hace por canales descubiertos conviene, como se ha hecho en Tokio, que aquéllos tengan las paredes y fondo formando un todo de hormigón armado, y para los trechos en que se sepa que existe o donde se tema un alto grado de sismicidad, ha dado allí buen resultado un recubrimiento interno de un fieltro asfaltado y con una mano de brea, pues así se conserva la impermeabilidad, aun cuando se agriete algo el hormigón. Los depósitos deben ser sólidas torres de hierro u hormigón armado, salvo cuando sea posible encontrar terrenos donde el coeficiente de sismicidad sea pequeño, en los que podrá establecerse.

Las redes de distribución de agua y de gas del alumbrado requieren muy detenido estudio. Tanto en los últimos terremotos japoneses como en el de 1906 de San Francisco de California, los mayores daños se debieron, a que ardió el gas que se escapó de las cañerías rotas, mientras que la rotura de las de agua, impidió que pudieran apagarse prontamente los numerosos incendios.

Los perjuicios del gas del alumbrado son tan grandes en ciudades ubicadas en zonas altamente sísmicas que sería muy conveniente, en muchos casos, suprimir su empleo.

Las galerías de canalización de alcantarillado, gas y agua deben construirse tan profundas como sea posible, al menos las de las redes principales, puesto que las oscilaciones sísmicas disminuyen mucho con la profundidad. Conviene que sean amplias galerías de hormigón armado, las que, además de evacuar las aguas sucias, lleven las tuberías de agua y gas.

Donde estas tuberías hayan de descansar directamente sobre el terreno deberá profundizarse, a ser posible, hasta llegar al sólido y firme. En todos los casos los tubos serán de acero, palastro u hormigón armado, pero no de hierro fundido, que es quebradizo. Como los tubos suelen romperse por sus extremos, convendrá estudiar un tipo de uniones, que sean algo flexibles.

N. PUIG DE LA BELLACASA

BIBLIOGRAFIA

- REY PASTOR (A.): *Traits sísmiques de la Peninsule Ibérique*.—Madrid, 1927.
 MASCIARI-GENOESE: *Trattato di Costruzioni Antisismiche, preceduto da un Corso di Sismologia*.—Milan, 1915.
 NAVARRO NEUMANN: *Terremotos, sismógrafos y edificios*.—Madrid, 1916.
 BRISKE (R.): *Die Erdbebensicherheit von Bauwerken*.—Berlin, 1927.
 SUMMERS (R. E. J.): *Earthquake Characteristics and Building Resistance*.—*Engineering-News Record*, vol. 91, 1923.
 DEWELL (H. D.): *Earthquake-Resistant Construction*.—*Engineering-News Record*, vol. 100, 1928.

El ancho de vía de los ferrocarriles españoles ¹

IV

Memoria de la Compañía de M. Z. A.

c) COSTE DE LA TRANSFORMACIÓN

La parte más fundamental del trabajo de la Compañía de M. Z. A. es aquella en que pretende demos-

¹ Véanse los números de 15 de febrero, 15 de marzo y 15 de abril últimos, páginas 69, 105 y 152.

trar que para hacer la transformación del ancho de vía de la red española había que gastar, en números redondos, mil millones de pesetas con los precios que el material y la mano de obra tenían en 1913, por lo cual algunos entusiastas comentaristas de los razonamientos, que atribuyen a D. Eduardo Maristany, dándoles así la fuerza del prestigio merecido de su personalidad, deducen que actualmente