

Construcciones asísmicas

POR

FERNANDO MONTESSUS DE BALLORE

(Conferencia dada en el Instituto de Ingenieros de Chile el 24 de Noviembre de 1910)

Sería bien superfluo perder tiempo en insistir sobre el sumo interés que presenta en este país el problema de las construcciones asísmicas i no sería ménos inútil demostrar que, hasta la fecha, se ha hecho mui poco aquí para poner los edificios al abrigo de los terremotos, una indiferencia lastimosa de que adolecen la mayor parte de los países azotados en estos últimos años por los terremotos.

Sin embargo las precauciones i métodos especiales del caso han dado lugar en varios países, como Austria, Estados Unidos, Francia, Italia i Japon, a investigaciones mui prolijas i minuciosas que bien codificadas ahora, constituyen un verdadero arte de construir en los países espuestos a los terremotos i cuyos menores detalles están perfectamente esclarecidos aunque, a la verdad, algunos pocos queden discutidos.

Desgraciadamente estos estudios no se han publicado sino en periódicos científicos poco espareidos, de suerte que los resultados obtenidos han quedado todavia casi del todo desconocidos, sea en el público, sea en los círculos constructivos, i si por una parte son bastante numerosos para poder constituir una biblioteca especial; por otra parte, sería difícil, costoso i casi impracticable reunirlos.

La indiferencia jeneral que reina relativamente a las construcciones asísmicas, i que no es particular a Chile, la orijinan varias causas, pero no hablaremos aquí sino sólo de la que pretende tener un carácter científico. Se dice que, segun la esperiencia de los siglos, en Chile no se producen los terremotos sino con intervalos mui largos, unos 80 años. ¿Para que, pues, preocuparse de un acontecimiento cuyo peligro es tan remoto? Es este un error gravísimo. Desde los tiempos de la colonia i sólo para las ciudades principales de este país, un tal período es exacto; sin embargo, hemos po-

dido recojer en los anales de la América del Sur i sólo para Chile, Bolivia, Perú meridional i Argentina occidental, 120 terremotos mas o ménos destructivos, o sea uno por cada tres años, pero cuyas áreas de daños se recubren parcialmente i si existiera en esta gran comarca de los Andes meridionales una densidad de poblacion comparable con la de varios países de Europa o de Asia, se acertaria muchísimo el intervalo de los estragos producidos en una misma ciudad. I sin salir de nuestras fronteras, tenemos a la vista un tal ejemplo: el terremoto del 13 de Agosto de 1868 azotó el norte de Chile i el sur del Perú, mientras que el del 9 de Mayo de 1877 azotó el norte de Chile. Pues bien, la ciudad intermediaria de Pisagua sufrió cruelmente de ámbos.

Lo sucedido últimamente en Italia debería bastar para abrir los ojos de los mas indiferentes. Conocida como es la historia de la Calabria i de la Sicilia desde mas de veinte siglos, se habia deducido un intervalo medio de 90 años entre los desastres, mas o ménos el mismo a que da fé aquí la opinion pública. Al suceder el de 1894 al de 1783, parecia confirmarse la regla. Pero se desvaneci6 la confianza por la série de los terremotos de 1905 i de 1907, que terminó por la catástrofe inaudita de 1908. Con tales antecedentes ¿quién podria afirmar cuerdamente que no sucederá lo mismo en Chile despues de la ruina de 1906? I queda todavia impotente la sismología en lo tocante a la prevision científica de los temblores, no lo dudemos.

A consecuencia de estos lastimosos desastres del sur de Italia, los poderes públicos, las Municipalidades i hasta los particulares se han puesto resueltamente a la obra i las reconstrucciones se hacen ahora en perfecta conformidad con los principios salvadores del arte de construir en los países inestables.

No parecerá, pues, inútil esponer a lo menos suscintamente algunas ideas jenerales sobre el problema ya resuelto de las construcciones asísmicas i con el único objeto de demostrar la posibilidad de combatir eficazmente al peligro sísmico.

Se han empleado dos métodos bien distintos para conseguir el resultado.

Algunos ideólogos, dotados de rica imaginacion i prescindiendo del método científico, se han forjado conceptos «a priori» respecto del modo de accion del movimiento sísmico sobre las construcciones i de ellos han deducido sistemas mas o ménos estraños que han presentado como verdaderas panaceas. A esta clase de pretendidas invenciones pertenecen por ejemplo los edificios movibles o articulados. No perdamos tiempo en estudiarlos i que queden sepultados en el polvo de las bibliotecas.

Los mas han investigado el problema por medio del método esperimental i como debia ser; a ellos solos les cupo el éxito completo.

Con este objeto se han comparado entre sí todos los elementos de las construcciones, materiales i estructuras, segun en un mismo terremoto habian resistido o no, i ha sido preciso estender esta investigacion a numerosísimos terremotos para eliminar completamente la influencia del terreno, o del sitio, lo que ha complicado sumamente la investigacion, pudiendo una construccion mediocre o hasta mala resistir mejor que otra levantada cuidadosamente, pero peor ubicada.

Aunque largo i penoso, el camino de la observacion no ha dejado de conducir al resultado, i que se trate de los materiales o del modo de unirlos para constituir un edificio cualquiera que sea, un constructor prudente i precavido sabrá i podrá ahora prometer la mas completa seguridad a sus comitentes. No es ésta una mera utopía: resulta neta i plenamente de los hechos experimentales.

La esperiencia de los grandes terremotos prueba que toda construccion levantada con buenos materiales i en conformidad con los métodos clásicos del arte, tiene ya tres probabilidades sobre cuatro de resistir victoriosamente a los temblores mas violentos i asoladores. En otras palabras, las precauciones o disposiciones especiales contra los fenómenos sísmicos no corresponden sino a la cuarta parte de los estragos debidos a los terremotos.

Se desprende tambien de la observacion un principio verdaderamente consolador: en ningun caso hai incompatibilidad entre la asismicidad i el empleo de tal o cual material o de tal o cual estructura arquitectónica. Basta tomar las precauciones necesarias.

No es este el lugar de reseñar ni siquiera suscintamente las reglas de que se trata, pero sí el de explicar cómo su carácter experimental i meramente práctico concuerda con los principios ordinarios del arte de construir. Para nuestro objeto podremos prescindir de las construcciones particulares como puentes, diques, etc., i restringirnos a las habitaciones, la clase mas comun de edificios i cuya ruina arrastra consigo el mayor número de víctimas i la mayor parte de la pérdidas materiales. El razonamiento ganará en sencillez, i, por consiguiente, en claridad.

El elemento fundamental de un edificio es la muralla que separa de la atmósfera libre un cierto espacio en que el hombre se pone al abrigo de las intemperies i conserva sus haberes. Debe, por consiguiente, resistir a la pesantez, es decir, a un esfuerzo estático, constante, vertical de arriba abajo i ademas a los empujes oblicuos mútuos que resultan precisamente de la yuxtaposicion de los diversos elementos de la construccion, empujes que, salvo casos especiales, son estáticos tambien. Con un terremoto, la muralla tiene que resistir, ademas, a esfuerzos dinámicos, ondulatorios, variables, horizontales i a la vez verticales de abajo arriba. En otras palabras, para tratar de la asismicidad bastaria, a lo ménos teóricamente, considerar como dinámicos los esfuerzos estáticos ántes aludidos i modificar en este sentido todos los cálculos conocidos. Pero para obtener la solucion del problema, es preciso darse previamente una cuenta exacta de las propiedades del movimiento sísmico. De otra manera el conjunto de las reglas prácticas de que se trata constituiria para el constructor un código empírico, o sea un cuerpo sin alma, que podria fácilmente emplearse al revés.

Pues bien, los aparatos sismográficos nos han dado a conocer las modalidades del movimiento sísmico, tan complicado i que al fin i al cabo resulta un transporte de energía, cuyo efecto puede descomponerse esquemáticamente para simplificar el razonamiento, aunque sean simultáneas todas las acciones diversas que arrastra consigo el terremoto. Se compone de cuatro especies de ondas que si coexisten en el foco

mismo del fenómeno, no dejan por esto de separarse luego a consecuencia de sus velocidades desiguales de propagacion ni, por consiguiente, de obrar por separado de modos diferentes i propios.

En primer lugar se manifiestan vibraciones elásticas, unas longitudinales, es decir, en el sentido del radio que une el foco sísmico al punto considerado i otras transversales, es decir, perpendiculares a la misma línea. Así corresponden respectivamente al sonido i a la luz. La velocidad de aquellas es el doble de la de éstas i por su brevísimo período ambas vibraciones compensan su pequeñísima amplitud, que no pasa nunca de fracciones de milímetros. Ondas acústicas de período demasiado lento o rápido quedan desapercibidas al oído del hombre, i, de la misma manera, estas vibraciones sísmicas, perfectamente registradas i separadas por los sismógrafos, no las percibe el sentido muscular, el que siente los temblores.

A pesar de la pequeñez de su amplitud estas vibraciones no dejan de producir efectos materiales de consideracion, puesto que obra la energía dinámica correspondiente con toda la masa terrestre que participa del movimiento i puede decirse esquemáticamente que su accion sobre los materiales de construccion es meramente molecular, es decir, tiende a separar las moléculas de los cuerpos, en otras palabras a desagregarlos. De esto se deduce la necesidad absoluta de emplear solo materiales compactos, coherentes i densos i de ligar los elementos parciales, piedras, ladrillos, etc., por medio de mezcla sólida i dura, es decir, que posea las mismas propiedades físicas.

Una muralla deberá, pues, ser homogénea i elástica i si se quiere dar a este precepto fundamental una fórmula teórica, se dirá que sus diversas partes deben vibrar sínchronicamente. Todas las reglas prácticas relativas a las cualidades intrínsecas de los materiales de construccion i que han sido enseñadas por la sola esperiencia de los terremotos, derivan de este principio. A la inversa, un constructor aficionado a los raciocinios lógicos podrá darse el placer de deducir las reglas de que se trata de la teoria mas pura. Una vez mas i en lo tocante a materiales, la teoria i la esperiencia concuerdan entre sí. Lo prueba claramente el exámen de los escombros de una ciudad arruinada por un terremoto. Si los restos de las murallas forman un monton de materiales sueltos i como pulverizados, es que la mezcla no tenía resistencia comparable a la de los elementos constitutivos, piedras o ladrillos; la muralla carecia de homojeneidad i de elasticidad. Al contrario cuando se ven porciones o bloques de mampostería que han caído sin despedazarse, es que, a consecuencia de la mano de obra misma, la muralla presentaba líneas de debilidad, por ejemplo, la de separacion entre el trabajo de un día i el del día siguiente.

Sin embargo, las vibraciones preliminares no son las mas terribles.

A ellas siguen las ondas que perciben los sentidos del hombre. Caminan éstas con ménos velocidad que aquellas, pero tienen una amplitud mucho mayor i que puede alcanzar a unos veinte i mas centímetros: son transversales i les corresponde una aceleracion cuyo máximo no pasa de 4,000 milímetros por segundo, siendo su

período relativamente largo. Constituyen estas ondas la fase principal, o mejor dicho, el temblor propiamente tal, cuyos efectos pueden ser iguales con breve período i pequeña amplitud o con lento período i gran amplitud, de suerte que, con temblores que producen la misma impresion fisiológica, pueden resultar efectos materiales muy diversos i desiguales.

Pues bien, este movimiento ondulatorio no ataca al mismo tiempo a todas las partes de una muralla, i al ondular éstas en un mismo instante no estarán en la misma fase; tendrán velocidades desiguales i hasta de sentido inverso. Si la resistencia del material empleado no le permite soportar eficazmente aceleraciones de sentidos inversos en puntos vecinos de su masa, sus elementos constituyentes, piedras o ladrillos, se separarán i la muralla se agrietará a lo largo de las líneas de junta de los elementos siguiendo alternativamente las hendiduras las líneas horizontales que separan entre sí los tizones i los parpiños.

Para combatir este efecto, bastará que la muralla sea homogénea i elástica, en otras palabras, se requieren las mismas propiedades que anteriormente para resistir a las vibraciones moleculares.

Una muralla se destruye tambien porque merced a la inercia algunas partes no obedecen inmediatamente al movimiento ondulario comunicado a otras por las ondas principales. La intervencion de este nuevo factor se produce especialmente para las partes superiores relativamente a las inferiores que reciben directamente el movimiento sísmico del suelo. Se atrasan, por consiguiente, aquellas, circunstancia que se empeorará si las vigas de los pisos en lugar de descansar por su sólo peso sobre las murallas, estan ligadas, amarradas o ancladas con estas últimas. Se producirá pues, un esfuerzo de aislamiento horizontal i la muralla tendrá que agrietarse a la altura de los pisos o mas comunmente un poco mas abajo, con tanta mayor facilidad cuanto que al participar por fin la parte superior de la muralla del movimiento del pie de ella, la parte inferior habrá ya cambiado de fase. Las grietas así formadas horizontalmente, segun la teoria, resultan oblicuas, a consecuencia de la existencia de partes débiles, las puertas o ventanas.

La accion destructora de la inercia es ménos peligrosa para una muralla independiente que para la que forma parte de un edificio, puesto que en este caso la inercia de los pisos se añade a las de las partes superiores de la muralla. Para resistir a este efecto, las murallas tendrán que estar ligadas completamente i de arriba abajo con los pisos, en otras palabras, deberán incluirse dentro de un amazon i, en efecto, segun la esperiencia de los últimos terremotos, deben condenarse terminantemente las murallas autónomas, es decir, las que sopartándose por sí mismas soportan además el peso de los pisos i techos. He aquí un verdadero descubrimiento cuya importancia en sismología aplicada no podría apreciarse demasiado.

Al sacar esta deducccion no se hace sino dar la consagracion experimental i teórica al empleo de las casas de amazones, sistema conocido en Italia desde el gran terremoto de 1783 i que inventó i aconsejó el célebre sismólogo Vivenzio. El Gobier-

no napolitano de los Borbones lo impuso en Calabria por una lei i mas de un siglo despues, en el terremoto de 1908, las casas así construidas, llamadas «case barracate», son las que han resistido mejor al desastre. Una vez mas la teoria i la práctica concuerdan perfectamente.

El movimiento sísmico presenta una cuarta clase de ondulaciones, las ondas visibles o gravíficas que se producen solo en terrenos movedizos e incoherentes, como aluviones o arenas, materias que entonces se mueven exactamente como las olas del mar, participando aquellas exacta pero momentáneamente de todas las propiedades físicas de un líquido. Varios sismólogos han negado su realidad i segun ellos no existirian sino en la imaginacion de los observadores aterrados, quienes en su espanto atribuirian al suelo el movimiento de que participan ellos mismos. Recientes investigaciones han comprobado su produccion i sucedió a veces que el terreno no siempre pudo volver a su forma primitiva, de suerte que despues de un terremoto estas olas se han cuajado, por decirlo así, con lo que se imposibilita toda negacion.

Se comprende fácilmente lo destructor de tales ondas cuya altura puede alcanzar a uno o dos metros i que caminan mucho mas rápidamente que las olas del mar. Su embate contra las fundaciones de un edificio es tanto mas terrible cuanto que dependen de la gravedad i al encontrar ellas una construccion obran con toda su masa, produciéndose entónces el fenómeno de la reventazon de las olas del mar contra los peñascos de una costa escarpada. Si por desgracia, el edificio no forma un conjunto perfecto con sus fundaciones, se separará de su base i se derrumbará sin remedio. Así por nuevo camino llegamos al concepto de un edificio, cuyas partes estén en tal dependencia o ligazon mutua que ninguna de ellas pueda moverse por cuenta propia i de esta manera se ha transformado la idea de los antiguos sismólogos cuando decian que todas las partes de una construccion tienen que ondular i vibrar sincrónicamente, problema que en esta forma no está al alcance del análisis matemático.

Otro efecto de las ondas gravíficas es el de inclinar una construccion. Si la proyeccion del centro de gravedad de un muro puede salir de su base de sustentacion, no pasa esto con el centro de gravedad de un edificio ordinario. En otras palabras, el volcamiento de un edificio es imposible i de hecho ningun caso semejante ha podido observarse. Pero si las paredes no están perfectamente ligadas con los pisos i las divisiones interiores, las murallas se independizarán del edificio i, por consiguiente, se volcarán. Este peligro es real i grande i, en efecto, se ve mui a menudo en grandes terremotos habitaciones que han perdido sus fachadas i cuyas piezas se presentan con sus muebles i enseres a la vista.

Se trata, pues, de construir un edificio de tal suerte que forme una especie de monolito solo capaz de bambolear con las ondas sísmicas sea principales, sea gravíficas. Claro que la solucion del problema consiste en una armazon jeneral cuyos vacíos en los planos horizontales i verticales estén ocupados o realizados por materiales que en el caso de las paredes verticales no deben soportar ningun peso. Así la muralla, tal como se concebía en los procedimientos clásicos de construccion, ha cambiado por

completo de papel; en edificios asísmicos no será sino una cortina, por decirlo así, cuya funcion no es sino de aislar un cierto volumen de la atmósfera libre.

A primera vista, estas consideraciones jenerales no dejarán talvez de extrañar i se las tachará de teóricas, de imaginativas. Bien lejos de ser así i tenemos otro fenómeno natural que ha dado lugar a deducciones semejantes en lo tocante a otra clase de construcciones. Se trata de los efectos de las olas del mar sobre los buques i de los principios que sirven de base a las construcciones navales.

Ambos problemas son casi idénticos.

Prescindiendo, en efecto, de la flotabilidad, ¿cómo obran las olas sobre un navio? Revientan con sus flancos, o murallas, i lo hacen bambolear i cabecear. El primer fenómeno corresponde al movimiento sísmico de la fase sensible o principal i el segundo a las olas gravificas. Por consiguiente, la solucion del problema de las construcciones asísmicas no difiere esencialmente del de las construcciones navales; en estas últimas, las paredes exteriores que se llaman tambien la muralla, no sirven sino para encerrar el volumen interior del navio i para protegerlo contra el embate de las olas, mientras que las cuadernas constituyen el armazon jeneral que liga entre sí la muralla con los puentes i con las divisiones interiores; así los requisitos exigidos en la construccion de un navio son los mismos que, segun acabamos de verlo, suministran la asismicidad de un edificio, cualquiera que sea.

Pues bien, ¿cuáles son estos requisitos? La contestacion se concreta fácilmente en tres palabras: homojeneidad, elasticidad e indeformabilidad. La homojeneidad se opone a la destruccion i a la desagregacion de los materiales bajo la accion de los movimientos vibratorios; la elasticidad bastará para combatir la inercia de unas partes relativamente a otras; en fin, la indeformabilidad impedirá el movimiento pantográfico del armazon con el que se destruyen las paredes, las divisiones i hasta las techumbres por exceso de compresion o de tension en sus mismos planos.

A las dos primeras condiciones corresponden la seleccion i la buena calidad de los materiales empleados i su modo de ligazon. No es este el lugar de hablar de una cuestion bien conocida, sin que haya necesidad de tratar de asismicidad. No hai *nada nuevo en lo tocante a solidez i elasticidad de un material, cualquiera que sea.*

Es un poco mas delicado obtener la indeformabilidad. Sin embargo, al darse cuenta de que los diversos elementos de una armazon, sea de madera, sea metálica, tienden a moverse como un pantógrafo, un constructor precavido hallará sin dificultad sería el método adecuado de oponerse a este movimiento por medio de cruces de San Andres, escuadras, etc., i sabrá muy bien trasformar los rectángulos de las armazones en triángulos, la sola figura geométrica indeformable que existe. Me limitaré a decir que en construcciones asísmicas se obtendrá mayor seguridad con la continuidad de las piezas verticales que con la de los elementos horizontales.

Espuestos estos principios jenerales por medio de los cuales es posible conseguir la asismicidad de un edificio i cuya aplicacion no presenta dificultad sería alguna, pero exige un conocimiento cabal de los efectos de los temblores sobre las construc-

ciones, queda otro peligro del que no puede prescindirse aquí, el incendio que sigue generalmente a los grandes terremotos. El fuego acarrea consigo dos consecuencias diferentes en un edificio cuyos materiales son incombustibles por sí mismos: se quemán los enseres que contiene i el edificio se destruye a consecuencia de la diferencia, de conductibilidad por el calor de sus elementos constitutivos, materiales i armazones.

Los ingenieros i arquitectos de los Estados Unidos se han preocupado mucho de este problema i, sin embargo, a pesar de sus esfuerzos i a pesar de lo atrevido i grandioso de sus conceptos constructivos, no han alcanzado a resolverlo, ni siquiera de lejos, a lo menos de una manera práctica. Bien podría ser que no haya ninguna solución, mientras tanto no se emplee un material único para construir una construcción.

¿Existe un tal material? Sin duda, e inmediatamente cada uno de los asistentes habrá pensado en el cemento armado, cuya homogeneidad impide que uno de sus elementos, cemento i hierro, se dilate mas que el otro, pero con tal que los fierros empleados sean numerosísimos, es decir, de un grueso muy reducido. No escapará tampoco a nadie que el cemento armado cumple precisa i perfectamente i por sí mismo con todos los requisitos de la asísmicidad. No solo es homogéneo i elástico, sino que, ademas, es indeformable.

Resulta de todo esto que el cemento armado es el material por excelencia para levantar edificios asísmicos e incombustibles. Se dirá: cuesta caro! Seria posible demostrar que no, a lo menos si se trata de construcciones de cierta importancia. Pero concedámoslo, no dejará de ser barato, puesto que pueden ahorrarse los gastos de seguro, i en pocos años se habrá recuperado la diferencia de precio, si existe. Se dice tambien que su construcción es delicada i hasta peligrosa recordando, en efecto, ciertas catástrofes retumbantes: se sabe muy bien que suceden accidentes cualquiera que sea el sistema de edificación; este peligro supuesto no es propio del cemento armado.

Quedaría por tratar la cuestión del sitio de un edificio que se quiere levantar asísmicamente, pero no siendo generalmente el constructor libre de escogerlo, bastará decir que existen métodos adecuados por peligroso que sea un terreno. La dificultad no será mayor que la de levantar un dique al traves de un pantano.

Es tanto mas urgente preocuparse de las construcciones asísmicas, cuanto que con mucha probabilidad las catástrofes venideras serán progresivamente mas desastrosas, debido al gran aumento de la población de las ciudades i al progreso mismo de la civilización que exige construcciones mas complicadas i mas altas. Se cree tambien en el público que a lo menos en estos últimos decenios los fenómenos sísmicos han entrado en un período de exacerbación. Esta opinion es errónea i resulta únicamente de la facilidad de las comunicaciones telegráficas pues merced a ellas, despues de pocas horas, un terremoto, por alejado que sea su foco, en el interior de la China o en la mas apartada de las islas del Océano, lo anuncian inmediatamente los periód-

dicos de todo el orbe. Si, pues, el peligro sísmico no se hace mas frecuente, sus estragos no dejarán por eso de crecer constantemente.

Creo haber conseguido el objeto que perseguía: demostrar la posibilidad de construir asísmicamente, sin caer en el peligro de esponer detalles meramente técnicos ante los miembros del Instituto de Ingenieros de Chile.