

EL TERREMOTO DEL 24 DE MAYO DE 1940, SUS EFECTOS Y SUS ENSEÑANZAS

Por: Ricardo Valencia

Prólogo

Durante su historia, la Ciudad de Lima ha sido sacudida por varios terremotos de gran intensidad. Dentro de los más destructivos se cuentan los del 9 de Julio de 1586, 13 de Noviembre de 1655, 20 de Octubre de 1687, 28 de Octubre de 1746, 4 de Marzo de 1904, 24 de Mayo de 1940, 17 de Octubre de 1966, 31 de Mayo de 1970 y 3 de Octubre de 1974.

Uno de los mayores esfuerzos que realiza en la actualidad el Ingeniero Civil, está dirigido a conocer los efectos de los sismos sobre las estructuras y a diseñarlas para resistirlos sin sufrir daños considerables.

153

Para el estudio del comportamiento de estructuras durante terremotos se requiere verificar, mediante costosa experimentación en laboratorios, la validez de teorías deducidas analíticamente. Generalmente esta experimentación se lleva a cabo sobre modelos de tamaño reducido, cuya validez está limitada, y en los casos en que se experimenta a escala natural, resulta sumamente costosa.

Por esto resulta de importancia fundamental analizar los efectos de los sismos pasados, ya que ellos constituyen la fuente de experimentación más realista, además de inevitable. Cada sismo nos deja enseñanzas de técnicas inadecuadas que deben evitarse y de otras favorables que sí deben utilizarse. Es por esto que después de un sismo deben estudiarse tanto las estructuras dañadas como las no dañadas e investigarse los factores negativos y positivos que resultaron decisivos en cada caso.

Para aprovechar mejor las costosas enseñanzas que nos

dejan los sismos, es indispensable planificar cuidadosamente la observación, para contar con información suficiente sobre las estructuras y sobre la sollicitación producida en ellas por el sismo, de manera que se evite formular hipótesis innecesarias. Para esto se deben uniformizar los procedimientos de observación y disponer de registros de aceleraciones obtenidos en el área de interés durante el sismo. La carencia de estos registros en nuestro país es alarmante. Se cuenta con unos pocos acelerogramas registrados en Lima y prácticamente información nula en todo el resto del país.

154

El terremoto de 24 de Mayo de 1940 es, probablemente, el más destructor que ha sufrido Lima. Ocurrió en una época en que las técnicas de diseño sismo-resistente eran aún incipientes y la disponibilidad de instrumentos para registrar aceleraciones nula en nuestro país. No obstante estas limitaciones, el Ing. Ricardo Valencia supo plasmar en un magnífico trabajo, publicado en 1941 en la revista de la Universidad Católica, sus observaciones relativas a las causa y efectos del sismo.

En dicho trabajo se describen los daños sufridos por diversas estructuras y se analizan los factores de diseño y constructivos que tuvieron influencia. Se presenta también una explicación del origen de los sismos, basada en la tectónica de placas (actualmente casi universalmente aceptada), y se analiza la influencia de la naturaleza del subsuelo en los efectos sobre las construcciones. Se incide también en la importancia de contar con registros de acelerógrafos, para así poder conocer las fuerzas sísmicas que actuaron en las construcciones.

Los comentarios y recomendaciones incluídos en el trabajo del Ing. Ricardo Valencia constituyeron un gran avance en el desarrollo de la Ingeniería Sísmica en el Perú y, a pesar del tiempo transcurrido, siguen siendo totalmente vigentes y de mucha utilidad a los investigadores de este tema. Por estas razones, el Programa Académico de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Católica del Perú tiene mucho orgullo en poner a disposición de las nuevas generaciones

de ingenieros, la reimpresión de este trabajo de uno de sus más ilustres profesores.

*Fernando Giuffra Fontanés
Director del Programa Académico
de Ciencias e Ingeniería*

4

Borradas ya en su mayoría las huellas materiales del fortísimo temblor del 24 de mayo último, y amenguados por el tiempo los recuerdos de los momentos de intensa emoción vividos en ese día, parece difundirse en el ambiente la ilusión de que este fenómeno ha apaciguado la actividad sísmica de la región, y que pasarán muchos años antes de que volvamos a ser azotados por un siniestro de alguna magnitud.

Pero para el ingeniero advertido, que conoce la frecuencia con que se presentan los temblores en la corteza terrestre, la falta de periodicidad de estos fenómenos, y la imposibilidad actual de poder predecirlos en lugar, tiempo e intensidad, este temblor semidestructivo constituye un aviso de que aún no han llegado las fuerzas tectónicas a una fase tal de actividad, que sólo puedan ser causantes de benignos remezones, incapaces de dañar las construcciones; y por lo tanto, que debe tener, en resguardo de la vida humana y de la propiedad, debida cuenta de la posibilidad de nuevos y aun más intensos movimientos, en la redacción de sus proyectos.

155

Cierto es que en muchos casos se ha observado que, después de un terremoto, ha habido un período más o menos prolongado de calma sísmica; pero también se ha observado en muchas otras ocasiones que los temblores parecían ofrecer ciertos ciclos de frecuencia, temiéndose, en los Estados Unidos, que la costa Oeste sufra en este momento la aproximación de una mayor actividad sísmica. En nuestro litoral se han registrado períodos caracterizados por gran frecuencia de temblores violentos.

Los temblores fuertes son más frecuentes de lo que

generalmente se cree: así, en los Estados Unidos se han producido, desde el año 1920 hasta el año 1936, 30 temblores de intensidad no menor que aquella que provoca rajaduras en los muros y caídas de chimeneas. En un mismo lugar pueden repetirse en cortos intervalos de tiempo temblores de fuerte intensidad. Así, en el Imperial Valley, en el sur de los Estados Unidos, se produjeron en mayo del presente año, dos temblores: semi-destructivos, con una hora de intervalo. En Calabria, entre el 5 de febrero y el 28 de marzo de 1783, se presentaron 6 terremotos. En Tokio, en abril de 1922, un temblor semi-destructivo causó graves averías en las construcciones; y año y medio más tarde, el 10 de setiembre de 1923, la misma ciudad fue arruinada por el terremoto del Kwantó, que causó 99,331 muertos, 43,476 desaparecidos, 103,733 heridos y la destrucción de 580,397 construcciones.

No existe, pues, justificación alguna para creer que, pasado el terremoto del 24 de mayo, hemos quedado inmunizados por muchos años contra una nueva calamidad análoga.

156

Si bien desde un punto de vista técnico este fenómeno no ha aportado nuevas enseñanzas, ha servido: a) para poner en relieve lo mal preparados que estamos para el estudio de estos fenómenos, y para poder en consecuencia fijar, en vista de sus aspectos locales, los datos cuantitativos correspondientes a una prudente reglamentación asísmica; b) para señalar la marcada influencia de la naturaleza geológica del terreno, sobre la intensidad del fenómeno; y c) para recalcar el acierto de las recomendaciones que comunmente se adoptan, en regiones sísmicas para contrarrestar los efectos de las sacudidas terrestres.

Es el propósito de este artículo, exponer estos puntos, basándose en observaciones realizadas a raíz del siniestro, en múltiples inspecciones de carácter técnico y de estudio en las zonas castigadas por él.

1.—FALTA DE PREPARACION PARA EL ESTUDIO DE LOS TEMBLORES

De las tres finalidades del estudio de los temblores: determinación de su origen y de sus causas; su aprovechamiento en el estudio de la naturaleza de la corteza terrestre; y determinación de las características de sus manifestaciones superficiales, sólo se tratará de este último aspecto, que es el que directamente se relaciona con el arte del Ingeniero Civil o Constructor.

A pesar de estar nuestro país en una zona de reconocida sismicidad, se ha dado en él siempre poca importancia al estudio de los temblores desde un punto de vista estructural; y más aún, parece que los ingenieros mismos tienen frecuentemente conceptos erróneos sobre la naturaleza del fenómeno: sólo así se explica que haya aparecido en una de las revistas técnicas de mayor importancia de nuestro medio un artículo en el cual se hacen afirmaciones que envuelven errores tan profundos como los de suponer que las componentes más destructoras de los temblores son las verticales; que menos temibles son las horizontales, y que, finalmente existe en los temblores una tercera dirección principal, de torsión. La repetición de los mismos errores, con un año de intervalo, en otro artículo y por otro autor, demuestra que esos primeros conceptos equivocados han podido ser aceptados como válidos, revelando así la responsabilidad en que ha incurrido la revista técnica referida.

157

Por estas razones, estimo oportuno hacer aquí un breve resumen de la teoría hoy universalmente aceptada de la génesis de los temblores y de sus efectos.

Los temblores más importantes son los de origen tectónico, o sea los producidos por el reajuste de las tensiones elásticas provocadas por la tendencia al deslizamiento de dos bloques contiguos de la corteza terrestre, que por enfriamiento del globo, o por otras causas aun desconocidas, tratan de desplazarse uno con respecto al otro. Se admite que el reajuste se puede realizar cuando las

resistencias de rozamiento entre los diferentes bloques son vencidas por las fuerzas que tienden a desplazarlos, bastando en algunos casos para precipitar el movimiento, una acción exterior, tal como una variación de la presión atmosférica, o de la atracción lunar. Justifican estas hipótesis una serie de observaciones: sabido es que con frecuencia, los temblores son precedidos por una marcada intensidad del viento, y a veces acompañados por precipitaciones pluviales, demostrando así cierta conexión con las variaciones barométricas. También es sabido que marzo y setiembre son meses de preferente actividad sísmica, los que corresponden a la aproximación del Sol al Ecuador, es decir, cuando su acción atractiva se suma en forma más directa a la de la luna. El sismólogo francés Alexis Perrey llegó a formular unas leyes planteando la mayor frecuencia de los temblores en Luna Nueva o Luna Llena, en el perigeo, y en la culminación lunar. No es difícil aceptar que estas acciones exteriores puedan provocar la ruptura de un equilibrio forzado entre dos bloques contiguos: una diferencia de unos cuantos gramos por centímetro cuadrado, sobre un bloque cuya dimensión puede ser del orden de varios kilómetros cuadrados, representa una fuerza considerable que puede bastar para vencer los últimos vestigios de resistencia al desplazamiento de dos bloques que tienden a moverse. La previsión de los temblores es, pues, si estas teorías son exactas, un problema muy complejo, pues no solamente se debe determinar el estado de tensión elástica entre dos bloques, suponiendo éstos ya delimitados, lo que es factible, por observaciones clinométricas, sino que habrá que determinar en cada instante la intensidad de las fuerzas activas y pasivas, para prever en qué momento llegarán a equilibrarse, con el peligro de que una acción perturbadora exterior venga a alterar la ley de estas variaciones y precipitar la realización del terremoto. Los sismólogos fundan grandes esperanzas en ciertos fenómenos premonitorios tales como inclinaciones del terreno, variaciones en las corrientes telúricas, etc. Pero hasta hoy, el problema ofrece pocas perspectivas de próxima solución.

El fenómeno mismo se origina en las capas profundas de la

corteza, caracterizándose por la emisión de ondas sísmicas desde un foco o hipocentro, el que está situado a una profundidad variable entre 2,000 y 50,000 metros. Estas ondas son de dos clases principales: las ondas primarias u ondas P, caracterizadas por el predominio de vibraciones en el sentido de la propagación del fenómeno, o sea de vibraciones longitudinales, y cuya velocidad, en las inmediaciones del hipocentro, es del orden de 7 kilómetros por segundo; y las ondas secundarias u ondas S, compuestas principalmente por vibraciones transversales a la propagación, y con una velocidad menor de unos 4 kilómetros por segundo. Finalmente, se presentan unas ondas llamadas largas, de gran amplitud, que parecen emanar del punto en que primero afloran, en la corteza terrestre, las otras dos ondas, siendo de carácter superficial y teniendo una velocidad de propagación aun menor que las otras de 3.8 kilómetros por segundo.

La zona dentro de la cual el fenómeno se hace sensible sin instrumentos, se llama área afectada, y su extensión es tanto mayor cuanto más profundo está el hipocentro. Dentro del área afectada, se pueden trazar líneas de igual intensidad sísmica, o líneas isosísmicas, llamándose área mezosísmica a la zona encerrada dentro de la isosísmica de mayor intensidad, la que contiene el epicentro, proyección radial del hipocentro sobre la superficie terrestre.

159

En su propagación a través de la corteza terrestre, estas ondas se reflejan y se refractan, dando lugar a una serie de nuevas vibraciones que interfieren y se superponen a las que se originaron en el hipocentro y que emanaron del epicentro, dando lugar a movimientos desordenados que se manifiestan en los diagramas trazados por los aparatos registradores de estos fenómenos.

Los desplazamientos de la corteza terrestre resultantes de la superposición desordenada de estas vibraciones, tendrán componentes verticales y horizontales; las que serán de tanto mayor amplitud, cuanto más cerca se hallen del epicentro. La posición de éste quedará pues fijada por la mayor intensidad de los daños materiales observables

dentro del área afectada; pero es necesario que esta área esté lo suficientemente poblada para que puedan existir en ella construcciones de características similares que puedan servir de elementos fidedignos de comparación para el trazo de las isosísmicas. Si parte del área afectada está deshabitada, o está cubierta por el mar, como parece haber sido el caso en terremoto de Lima, la posición del epicentro sólo se puede fijar por medio de los instrumentos ideados para el estudio de estos fenómenos.

Se aprovecha, para esta determinación, de la diferencia entre las velocidades de propagación de las diversas ondas, pues cada una de ellas inscribe en los aparatos registradores un trazo característico que permite fijar el instante de su llegada al aparato.

160 La ubicación del epicentro tiene importancia en el estudio de las causas del fenómeno, pues permite caracterizar el origen del fenómeno: tectónico, volcánico, etc. y señala frecuentemente la posición aproximada de las fallas cuyas manifestaciones superficiales pudieran pasar inadvertidas, al no conocerse su ubicación.

No contando el Perú con un servicio sismológico debidamente establecido no ha quedado ningún registro permanente de las características locales del fenómeno: el único observatorio existente en Lima está provisto solamente de un anticuado sismógrafo de fabricación europea, construído para registrar los microsismos provocados en aquel continente por los terremotos ocurridos a miles de kilómetros de distancia; todos estos aparatos, de sensibilidad extrema, están provistos de dispositivos amplificadores que aumentan de 80 a 100 veces la magnitud de las vibraciones terrestres, imperceptibles a los sentidos del hombre. Están pues destinados a ser usados en zonas asísmicas, o sea, fuera de las áreas afectadas: si se considera que la amplitud de los desplazamientos empieza a ser importante, desde el punto de vista de la ingeniería estructural, a partir de 2 centímetros, y que los más grandes desplazamientos observados son del orden del decímetro, no ha de extrañar que un microsismógrafo

resulte inaparente para nuestro medio: los dispositivos amplificadores llevan a las agujas trazadoras fuera de la zona de registro, haciéndolas saltar, o rompiéndolas contra los topes limitadores de sus desplazamientos. Esto sucedió precisamente con nuestro sismógrafo, interrumpiéndose el registro del movimiento, con la primera sacudida.

Como las líneas isosísmicas no tienen formas regulares, pues las intensidades del fenómeno dependen también de la naturaleza de los terrenos atravesados por las ondas, su estratificación, su grado de consolidación, y otros factores, un lugar puede mostrar huellas de mayor intensidad sísmica que los circundantes, sin ser por ello el epicentro. Resulta por esto imposible, entre nosotros, sin el concurso de instrumental de precisión, fijar, por simples observaciones, la posición del foco del terremoto.

Un análisis de los aspectos de los pueblos vecinos de Lima permite sin embargo, establecer cierta localización del foco del temblor, a pesar de la existencia de zonas despobladas al norte y sur del valle de Lima, que interrumpen la continuidad de las observaciones para el trazo de las isosísmicas. En Chancay, a 60 km. al Norte, los daños en las construcciones son comparables con los observados en Lima: las dos iglesias vetustas del puerto se han derrumbado, y muchas construcciones de quinchá en mal estado han sufrido la caída de paños enteros de tabiques. En Lurín, 20 kilómetros al sur de Lima, y en Huacho 130 km. al norte, los desperfectos son ya menores, y comparables entre sí. Si nos alejamos tierra adentro, vemos que en Chosica, 40 kilómetros al este de Lima, a pesar de su posición entre cerros, sobre terrenos aluviales de poco espesor, también son menos graves, los daños, que los constatados en la Capital y sus alrededores. Estas observaciones nos conducen a la presunción que el epicentro estuvo a alguna distancia de la costa, mar adentro, y en el paralelo de Chancay, aproximadamente.

16

Otro factor que confirma la presunción de que el epicentro estuvo frente a nuestras costas, y no en el litoral, ha sido la alteración del ritmo de las variaciones del nivel del mar.

Tampoco en este caso podemos contar con ningún registro de las características del fenómeno, pues el mareógrafo del Servicio Hidrográfico de la Marina estaba en limpieza al ocurrir el terremoto; pero según versiones recogidas en diversos medios, se puede establecer que el nivel del mar sufrió oscilaciones lentas, con una amplitud máxima de unos 3m.00 en el Callao, y algo mayor en Chancay; pero mientras algunas pretenden que el período de estas variaciones fué del orden de 10 minutos, otros le atribuyen un valor tres veces mayor. El número de las oscilaciones observadas varía también según los observadores, entre 4 y 8. La falta de funcionamiento del mareógrafo nos ha privado así de un registro de interesante valor.

162

Si nuestro Servicio Hidrográfico hubiese tenido suficiente tiempo, desde su creación, para hacer levantamientos batimétricos de la costa hasta una distancia apreciable, se hubiera podido posiblemente fijar el epicentro, con un nuevo sondaje; pues es sabido que después del terremoto del Kwanto, se observaron hundimientos hasta de 720 mts. y levantamientos de 450 mts. en la Bahía de Sagami, en la zona epicentral, siendo tanta la magnitud de las diferencias encontradas, en relación con los sondajes anteriores, que hicieron creer en un principio, que se trataba de algún error.

Frecuentemente, en los temblores tectónicos, los deslizamientos del terreno en las fallas, se manifiestan por traslaciones horizontales o verticales, relativas, de los bordes, que pueden alcanzar valores importantes (14m.35 de desnivel en Alaska, año 1899). A veces, si las capas sedimentarias son aluviales de gran espesor, los movimientos de los bordes de las fallas, en la roca eruptiva subyacente, no llegan a manifestarse en la superficie, perdiéndose en la altura de la masa detrítica, sobre todo si los desplazamientos no son de gran importancia; pero en el terremoto del Valle Imperial mencionado anteriormente, los movimientos de la falla se acusaron en la superficie, a través de un paquete sedimentario incoherente de más de 100 metros de espesor. Frecuentemente, pueden pasar inadvertidas las manifestaciones superficiales de las fallas,

si son de unos cuantos decímetros de amplitud, y se producen en zonas deshabitadas. Las carreteras, las líneas ferroviarias, los canales de irrigación, obras que se caracterizan por su continuidad a través de largos techos de territorio, frecuentemente desierto, son en este caso testigos valiosos de perturbaciones topográficas que sin ellos hubieran pasado inadvertidas. Un recorrido cuidadoso efectuado por la red de carreteras que irradia de Lima no ha revelado la presencia de ninguna falla que pueda fijar, en tierra, la naturaleza tectónica del terremoto. Si bien en algunos puntos el revestimiento de asfalto se ha abierto, estos desperfectos han ocurrido cada vez, ya sea en los puntos de unión de rellenos con el terreno natural, en el paso de quebradas, tal como quedan algunos en la Avenida Costanera, o en tramos de pendiente fuerte, y encima de rellenos, como ha sucedido en la subida hacia Huacho, la quebrada de Doña María; pero el terreno natural a ambos lados de la pista no muestra señales de desplazamiento u otros accidentes que permitan atribuir la grieta en el asfalto a causas geológicas.

163

La intensidad del fenómeno ha escapado por completo a toda evaluación precisa, pues sólo podría basarse en la observación de sus efectos, los que son influenciados por las características particulares de los objetos observados, y, durante el temblor, por el estado de ánimo del observador. Este dato es de gran interés para los ingenieros de construcciones civiles, pues permite comprobar por procedimientos analíticos los efectos relativos del siniestro sobre las construcciones y deducir de esta operación el coeficiente de seguridad que corresponde a cada caso: es prácticamente imposible calcular en una construcción el aporte de rigidez y resistencia que significa, para los esfuerzos horizontales, la presencia de tabiques, muros, y tramos de escalera, elementos auxiliares que solamente intervienen en los cálculos estáticos, como cargas muertas de los edificios, en detrimento de la resistencia útil de la estructura; pero que en el momento de actuar las fuerzas horizontales, por su rigidez contribuyen apreciablemente a la indeformabilidad del todo, siendo en general los elementos más castigados o averiados. Un conocimiento de la importancia

de las fuerzas puestas en juego durante un temblor, y el cálculo de la resistencia de la estructura misma, permitirán por simple diferencia comprobar en qué proporción se puede contar con los elementos auxiliares del edificio, en la apreciación de su rigidez.

También es de interés conocer el período del movimiento. Es un hecho casi generalmente aceptado, hoy, que los temblores destructivos presentan un período de vibración, en su fase principal, que es característico para cada lugar; el conocimiento de este período permitirá diseñar edificios elevados que no presenten el peligro de un sincronismo entre su período propio y el de los temblores destructivos de la región, pues esta circunstancia condenaría la construcción a su ruina. Si bien, en casos complejos, no es posible abordar por el análisis la determinación del período propio de una construcción, se aprovechará de métodos experimentales, y, si un edificio recientemente concluido demuestra, en el curso de la determinación de sus períodos de vibración fundamental y primera armónica, que hay peligro de ese sincronismo, se podrá proceder a modificar sus períodos por cualquier procedimiento que altere, de preferencia, mejorándola, la rigidez.

164

En las múltiples inspecciones realizadas a raíz del terremoto, no se ha podido hallar ningún elemento estructural simple cuyo comportamiento haya sido susceptible de proporcionar, por el análisis, un criterio estimativo sobre la intensidad del movimiento, habiéndose perdido así una oportunidad de conseguir los datos básicos para el planteo racional de un Reglamento de Construcciones antisísmicas.

Cierto es que contamos con los registros obtenidos fuera del área afectada: en el valle de Tambo, el joven ingeniero peruano don Fernando de Romaña, sismólogo y astrónomo aficionado, ha fabricado un sismógrafo de simple inscripción, orientado para registro de las oscilaciones de sur a norte, y que ha trazado las vibraciones que llegaron hasta ese lugar; los diarios de Lima han publicado despachos anunciando que un observatorio norteamericano había registrado el fenómeno con la misma intensidad que

el terremoto de Chillán, y han reproducido el sismograma de las componentes norte-sur y este-oeste, obtenido en el Observatorio de La Plata, gentilmente proporcionado por el Ingeniero don Alfredo Galmarini, Jefe del Servicio Meteorológico de la República Argentina; pero desgraciadamente, todo el acopio de datos provenientes de instrumentos situados fuera del área afectada, no reemplaza, en valor práctico y desde un punto de vista estructural, al registro en la zona epicentral, pues los retardos correspondientes a las velocidades de propagación de las diferentes ondas modifican sustancialmente el aspecto de las vibraciones, tales cuales fueron en el lugar amagado, y a este efecto viene a sumarse el que corresponde a las subsiguientes reflexiones y refracciones sufridas por las ondas, en su recorrido de la corteza terrestre, al cruzar planos de separación entre macizos geológicos de diferente consistencia. Cuando mucho, esos registros permitirán fijar aproximadamente la posición del epicentro, la profundidad del hipocentro, y la intensidad relativa del fenómeno.

Estos conceptos bastan para demostrar la utilidad de un Servicio Sismológico debidamente equipado para poder obtener un provecho útil e inmediato de su funcionamiento: lo que requiere, además de un instrumental adecuado, un personal suficientemente preparado para interpretar acertadamente la documentación obtenida.

165

En la elección de los instrumentos, deberá considerarse cuáles son las características que revisten verdadera importancia utilitaria. Para nuestro medio, bastaría con registrar únicamente aquellas que tienen relación directa con la ingeniería estructural, dejando para más tarde todas aquellas que puedan arrojar mayor luz sobre el origen de los temblores, su previsión y el sondeo geofísico, aprovechando de las ondas sísmicas, temas de mucho interés científico, pero de escasa aplicación práctica inmediata, y que requieren largos años de estudio antes de rendir frutos.

Con este criterio, y para un programa de estudios establecido exclusivamente con fines técnicos, el equipo de un observatorio apropiado podrá constar, en un principio,

de sólo dos instrumentos: un acelerógrafo y un analizador armónico de las vibraciones.

Ya se ha indicado, más arriba, la importancia de la determinación del período propio de los temblores de magnitud destructiva, en cada lugar; un aparato del tipo del analizador de Suyehiro bastaría para lograrla.

En cuanto al acelerógrafo, cabe justificar su importancia: El efecto dañino de un temblor sobre una construcción depende de las aceleraciones que éste comunica a los diferentes elementos del edificio, pues éstas, multiplicadas por las respectivas masas, dan las fuerzas para las cuales hay que dimensionar los conjuntos estructurales.

166

De estas aceleraciones, las verticales no son nunca tenidas en cuenta en los cálculos estructurales, pues sólo modifican la intensidad de las fuerzas verticales para las cuales está diseñada la construcción, y el factor de seguridad, generalmente 3 o 4, cubre ampliamente los aumentos de carga instantáneos provocados por las aceleraciones ascendentes, que en muy raros casos llegan a sobrepasar la aceleración de la gravedad, y sólo por una cortísima fracción de tiempo: no hay hasta ahora ninguna constancia de que un edificio bien diseñado para cargas verticales, haya sido dañado por efecto de las componentes verticales de movimientos sísmicos. En cambio, a menos que se haya contemplado una construcción asísmica, los edificios no se calculan para fuerzas horizontales funciones de la masa, y por esta razón, las aceleraciones horizontales sí provocan frecuentemente daños de importancia, tanto más cuanto que son transmitidas desde la base de los edificios, en su contacto con el terreno, y se propagan al resto del edificio por las uniones, empalmes y ligazones entre los diferentes elementos, creando en ellas esfuerzos cortantes y de flexión para los cuales no están diseñadas. La amplitud de estas acciones dependerá de las aceleraciones, y el procedimiento más simple de cálculo de estructuras asísmicas consiste en asignar a cada elemento de la construcción una aceleración horizontal, fijada por los reglamentos oficiales, en vista de la intensidad usual de los movimientos sísmicos

de la región, y expresada en términos de g , aceleración de la gravedad, lo que equivale a asignar a cada elemento una fuerza horizontal equivalente a la fracción de su peso expresada por el factor asísmico.

Un sismógrafo registra los desplazamientos del punto de la corteza terrestre en que está instalado, y si bien, en vista del aspecto de las curvas inscritas, asimiladas a un movimiento armónico simple, se puede deducir la máxima aceleración, basta observar un trazo sismográfico para apreciar que este dato es tan sólo aproximado, pues el aspecto de los trazos es de carácter periódico en cortos tramos, para una o dos vibraciones a lo sumo, lo que exige aplicar este proceso a diferentes partes del registro, para poder estar seguro de haber obtenido el valor máximo buscado. Si se tiene un aparato que automáticamente indica las aceleraciones experimentadas, se conocerá de inmediato las máximas intensidades efectivas, sin necesidad de calcular valores aproximados, y en vista de estos, se podrá a la larga, fijar con prudencia el factor asísmico.

167

Bastan pues los dos instrumentos indicados, para disponer de un observatorio sismológico para fines prácticos de estática de las construcciones; pero si se establece como complemento conveniente un servicio de control de la seguridad de los edificios, será también necesario disponer de unos dos o tres analizadores portátiles de frecuencia y de otros tantos acelerógrafos portátiles también, para permitir instalarlos en los edificios por controlarse, para estudiar sus períodos propios y sus factores de amortiguamiento, que permiten estimar el aporte de rigidez de los elementos que escapan al cálculo. Las características deseables del acelerógrafo serían, según las recomendaciones de Suyehiro, un período de oscilación libre de 0.15 segundos, y una escala de registro período de oscilación libre de 0.15 segundos, y una escala de registro de $1 \text{ cm.} \approx 20 \text{ cm/seg}^2$.

Finalmente, y ya para estudios sismológicos propiamente dichos, se completaría el observatorio con un macrosismógrafo, un tiltógrafo y posiblemente un magnetómetro;

pero este equipo suplementario correspondería ya a estudios especializados, para los cuales precisaría tener un personal preparado especialmente, y éste sería más indicado para señalar las necesidades y las características de los aparatos.

Resumiendo, la falta de preparación del medio, para el registro de los fenómenos sismológicos ha impedido fijar las características locales del terremoto del 24 de mayo que mayor utilidad hubieran tenido para fines de una reglamentación asísmica. Desconocemos así el período, la magnitud de los máximos desplazamientos del suelo y las mayores aceleraciones del fenómeno, imposibilitándonos para relacionar estos datos con la importancia de los daños experimentados por los edificios; y, desde un punto de vista meramente sismológico, sólo podemos, en vista de indicios sobre todo negativos, presumir que el foco ha estado en el Océano Pacífico, a la altura del pueblo de Chancay.

168

II.—INFLUENCIA DE LA NATURALEZA GEOLOGICA DEL TERRENO

La consistencia de los terrenos tiene una influencia marcada, en la amplitud de los fenómenos sísmicos: cuanto menos rígido un terreno, mayor será la importancia de los desplazamientos de las partículas que lo forman. Las ondulaciones de la superficie de la Tierra, vistas por multitud de personas, durante un terremoto, y las deformaciones permanentes de terrenos, que han quedado como pruebas materiales de este efecto, son debidas a una perturbación de carácter superficial, llamada "onda gravífica", que se amortigua rápidamente en profundidad, y que por lo tanto, sólo afecta a aquellas construcciones cuya cimentación es superficial. Este fenómeno es el que causa en general los mayores desperfectos, pero el hecho de que sólo se presente en forma apreciable en terrenos de poca coherencia, generalmente saturados de agua, y que sólo actúe a profundidad reducida, permite contrarrestar sus efectos en forma relativamente fácil. Para esto, bastará buscar una cimentación profunda, por medio de pilotes, tal como se ha hecho, entre nosotros, para los edificios del

Terminal Marítimo, que ocupan áreas formadas por rellenos hidráulicos de reciente ejecución, y que no han sufrido daño alguno con el terremoto, a pesar de hallarse ubicados más afuera de la línea natural de la orilla. Otra solución, que conviene para edificios provistos de sótanos, consiste en aislar la construcción de las capas superiores del terreno circundante, por medio de una zanja perimétrica, que se aprovecha para dar luz a la zona en subsuelo.

Esta onda gravífica deja huellas permanentes de su paso: diferencias de nivel, agrietamientos, averías de importancia en los edificios de cimentación superficial, rotura de los conductos subterráneos rígidos, tales son algunas de sus manifestaciones más importantes: y estos efectos son tanto más graves cuanto menor es la consistencia del terreno, y menor su espesor, encima de los estratos consistentes; sobre todo, si la masa es cuneiforme, con el extremo grueso en la dirección de donde vienen las vibraciones: parece que se produce en este caso una concentración de la energía, que incrementa la importancia de los desplazamientos y de las ondulaciones. Este fenómeno tiene paralelos en varias manifestaciones del mismo orden: cuando una bahía se angosta y disminuye de profundidad, la altura de las olas aumenta a medida que éstas progresan dentro de la bahía; la onda de marea sufre efectos similares, que se manifiestan notoriamente en la bahía de Fundy, donde una altura de marea de 4m. en la boca, alcanza a 14m. en el fondo; asimismo, las variaciones de nivel de las aguas, por efecto de los temblores, sufren incrementos importantes en las bahías profundas que se angostan progresivamente, dando lugar a las olas de maremotos, los temibles "tsunami", que tantas desgracias han causado en el Japón. A otra escala, se puede apreciar un efecto similar cuando se somete una masa de concreto a la vibración: si el molde presenta algunas secciones donde la masa de material disminuye de espesor, se observa que las partículas en esa zona adquieren desplazamientos mucho más importantes que en el resto de la masa, pudiendo hasta saltar fuera del molde.

En el Callao, han quedado muchas huellas de esta onda

gravífica, sobre todo en los terrenos recientemente formados por relleno hidráulico. En la zona de ampliación del Terminal Marítimo, se ha ganado al mar por este procedimiento una extensión de 166,000 metros cuadrados: el material dragado ha tenido una fuerte proporción de arcilla, y estos terrenos, con sólo un año de formación, retienen aún fuerte proporción de agua. Para proveer una base consistente para las pavimentaciones por ejecutarse sobre esta zona, se tuvo la precaución de ubicar las descargas de la draga hidráulica en el eje de las futuras calles: en estas condiciones, fue posible ejecutar los revestimientos de concreto sin retardo, y sin asentamientos apreciables. A pesar de la mayor proporción de piedra y arena que consolidaba estas fajas, debajo de las pistas, el terremoto ha dejado la superficie del terreno con una ondulación permanente, que ha desquiciado las losas constituyentes, desalineando los postes y provocando un descenso general de la rasante; pero en medio de este desorden, las casetas de las balanzas de control de carga de esa zona del puerto, cimentadas sobre pilotes, no han sufrido ningún desperfecto.

En la zona del Arsenal Naval, también rellenada hidráulicamente, hace unos dos años, el terreno se ha agrietado, brotando a la superficie masa de lodo semilíquido; un emisor de desagües de 20" de diámetro se ha partido en 7 diferentes puntos y, lo que es más grave, tres de los edificios han sufrido desperfectos importantes, salvándolos de una catástrofe la buena calidad de su ejecución: en efecto, los agrietamientos del terreno han atravesado algunas de las construcciones, arrastrando en su movimiento a las partes correspondientes de los edificios; se puede apreciar, en la fotografía reproducida en la fig. 1, el efecto en la fachada de una de estas construcciones.

Si la consistencia de los terrenos es mayor, aun cuando no se presenta la onda gravífica, los efectos de concentración de la energía se manifiestan con la misma nitidez, si el espesor de los estratos disminuye gradualmente en el sentido de la propagación del movimiento. En las ensenadas de cerros, que abarcan paquetes sedimentarios, la

amplitud de las vibraciones aumenta: a este efecto se deben en parte, los mayores daños causados en todo género de construcciones, en la rinconada de La Molina, en la de San Jerónimo, y en Chorrillos.

En el caso de este balneario, ha influido además la presencia del elevado barranco, en cuyo borde, la solución de continuidad de los estratos sedimentarios ha permitido una mayor libertad y amplitud del movimiento. Este fenómeno, señalado en todas las obras sobre construcción sísmica, que recomiendan mantener prudentemente alejadas las construcciones de accidentes topográficos tales como barrancos, quebradas, orillas de ríos, etc., se caracteriza por la presentación de rajaduras paralelas a los bordes del terreno, y la fotografía de la fig. 2 correspondiente al Malecón de Chorrillos lo pone claramente en evidencia: las losetas han sido desprendidas por la violencia de las vibraciones, y además, se aprecian las grietas características de las circunstancias señaladas. En el Callao mismo, en la orilla, las construcciones ubicadas sobre el cordón litoral ha sufrido averías por deslizamientos cuya causa se puede atribuir a manifestaciones de la onda gravífica (pues el espesor del cordón es reducido) o a agrietamientos paralelos a la línea de costa: para no citar sino algunos casos, señalaremos que la Sala de Máquinas del Frigorífico Nacional se separó hacia el mar de unos 10 centímetros del resto del edificio, rompiendo las tuberías comunicantes, y desaplomando los pilares que soportan sus tijerales; y todos los cercos perpendiculares a la playa manifiestan rajaduras que parecen acusar desplazamientos y rotaciones, pues el ancho de las rajaduras no es uniforme en su altura.

171

Si bien no hay ninguna novedad en la naturaleza de los efectos indicados en estos ejemplos, ellos constituyen una nueva advertencia sobre la importancia de tener debida cuenta de la naturaleza geológica y topográfica, en el diseño de las construcciones, y confirman plenamente el acierto de las disposiciones que los tratados de construcción sísmica aconsejan al respecto.

En terrenos muy coherentes, las amplitudes de las vibracio-

nes son muy pequeñas, del orden de 0cm. 5 en el caso de los terremotos más violentos, y se caracterizan por no sufrir disminución sensible en profundidad. Esta particularidad ha sido demostrada por sismólogos japoneses que ubicaron dos sismógrafos sobre una misma vertical, distantes entre sí de 400m., aprovechando de la ejecución de túnel de Tana, obteniendo sismogramas prácticamente comparables, para ambos puntos.

172

Si los espesores de terrenos sedimentarios aluviales, son considerables, las vibraciones son amortiguadas; pueden por todas estas diversas circunstancias presentarse diferencias apreciables entre las intensidades de un mismo fenómeno, en zonas relativamente próximas, y el terremoto del 24 de mayo, así lo ha evidenciado en forma saltante: en La Punta, distante apenas 3 kilómetros del centro del Callao, y a pesar de ser una península que avanza unos dos kilómetros mar adentro, los desperfectos en las construcciones han sido insignificantes; gracias a la consistencia del terreno, formado por un promontorio de cascajo bastante compacto; entre Barranco y Lima, lugares fuertemente castigados por el sismo, ha quedado una faja de unos 8 kilómetros de ancho, que comprende las urbanizaciones del sur y la ciudad de Miraflores, donde la intensidad del fenómeno ha sido apreciablemente menor, debido al espesor del paquete aluvial.

Estas variaciones, que se traducen en contornos irregulares de las isosísmicas, como se ha dicho más arriba, permiten asegurar que hay zonas en la vecindad de Lima que son más favorables para la construcción que otros, desde el punto de vista sísmico, y deben ser aprovechadas preferencialmente para la edificación.

III.— *IMPORTANCIA DE LAS RECOMENDACIONES PARA CONSTRUCCIONES ASISMICAS*

La experiencia, en países frecuentemente azotados por temblores, ha permitido establecer una serie de disposiciones que mejoran la resistencia de las construcciones ordinarias, y abaratan el diseño de las construcciones

asísmicas. En general, se comprueba que toda construcción aunque no sea precisamente asísmica, si ha sido ejecutada con buenos materiales, con los cuidados que la buena edificación exige, y de acuerdo con esas disposiciones, soportará sin el menor daño la acción de terremotos violentos, si no tiene más de dos pisos, y sólo sufrirá averías menores, si es más elevada; finalmente, si se proporcionan los elementos estructurales para resistir a acciones resultantes de una aceleración horizontal de 0.1 g, se puede garantizar, para todas las construcciones urbanas corrientes, una absoluta seguridad contra terremotos.

Las disposiciones que mejoran así la resistencia de los edificios a los temblores se basan en cinco condiciones, todas ellas fundamentales para una buena construcción: calidad, homogeneidad, simetría, rigidez y estabilidad. La inobservancia de estos preceptos fundamentales ha sido la causa de los accidentes y desperfectos sufridos por los edificios del área afectada por el fenómeno del 24 de mayo; y tiene su origen en a) las exigencias de los propietarios para reducir el mínimo el costo de sus construcciones, enfrentando en las licitaciones a contratistas inescrupulosos con profesionales conscientes, y dando preferencia a la propuesta más baja, sin tomar en cuenta la necesidad de un Pliego de Especificaciones detalladas; b) la indiferencia de los poderes públicos, que han permitido una disminución indebida en la calidad de la construcción; y c) la inconsciencia de muchos ingenieros, que han pasado por alto requisitos fundamentales de una buena construcción, ya sea ella antisísmica o no, para poder entrar en competencia con los contratistas ignorantes o inescrupulosos, en igualdad de condiciones.

173

Es halagador poder afirmar que sin excepción, todos los edificios elevados de Lima diseñados y construídos por ingenieros nacionales, han soportado el terremoto sin sufrir ningún desperfecto de importancia; pero para el público en general, que no puede discernir entre un edificio de armazón estructural y un edificio de muros resistentes, cualquier rajadura en un tabique significa una grave lesión del edificio, y por estas razones, durante los primeros días

después del terremoto, se oyó condenar como peligrosas algunas de las construcciones elevadas de la capital. Con excepción del Edificio Electra, de las centrales de teléfono automático, y de la sala de actuaciones del Lima High School, todos los demás edificios han sido diseñados sin considerar específicamente la resistencia a los temblores; y por lo tanto, las deformaciones elásticas de las estructuras son de suficiente importancia para afectar la rigidez de los elementos de relleno, tales como tabiques, muros de ladrillos no estructurales, tramos de escalera, que forman resistencias localizadas sin, estar dimensionadas para las acciones a que su indeformabilidad las somete. Después de un temblor, las fisuras que presentan estos elementos de relleno impresionan fuertemente a muchas personas, que tienden a atribuirles una importancia de la que en realidad carecen. Sobre todo, fueron objeto de comentarios los desperfectos sufridos por el Edificio Boza, en la Plaza San Martín, y por el Edificio Raffo, en la Avenida Nicolás de Piérola: más adelante haré un análisis de sus condiciones estructurales. Basta decir que las partes resistentes de concreto armado de estas dos construcciones no han sufrido ninguna avería, habiéndose limitado los daños a elementos de relleno; lo mismo que ha ocurrido en los demás edificios elevados de Lima.

Para recalcar la importancia de las recomendaciones tendientes a mejorar la resistencia de las construcciones a los temblores, voy a hacer, a continuación, una reseña de casos típicos observados en la zona de Lima, en que los daños se habrían evitado o aminorado si se hubiesen respetado aquellas precauciones.

Calidad.

La primera, relativa a la calidad de la construcción, ha sido señalada en tantas ocasiones, que casi no vale la pena de volver a insistir sobre ella; basta recordar que después de cada catástrofe sísmica, han aparecido en las revistas técnicas, en la prensa, y en folletos diversos, prevenciones contra la mala construcción; el autor de este artículo presentó en el año 1933 a la Segunda Conferencia Nacional

de Ingeniería una ponencia sobre el Problema de los Edificios Asísmicos en el Perú, en que señalaba las ventajas de una buena construcción, como paliativo para los efectos de los terremotos, y fijaba las condiciones de estabilidad de diversas clases de albañilería, para factores sísmicos de 0.01 y 0.05; se determinaba así que un muro aislado de adobe de cabeza con una altura de 1m.34 (o sea la altura de una tapia), sólo es estable para aceleraciones horizontales menores de 0.05 g; que los muros de ladrillos que soportan descargas de techos son más estables que los muros aislados (hasta dos veces más estables, para una altura de 3m.00 y un coeficiente asísmico de 0.05, hasta 12 veces más si este coeficiente es 0.1). Los inconvenientes del adobe, debido sobre todo a la falta de adherencia, se han denunciado repetidamente: la fotografía de la fig. 3 muestra lo que quedó de una casa de este material, en el Callao, en una zona donde aparentemente se presentó con apreciable intensidad el fenómeno de la onda gravífica, como lo evidencian la rajadura de la pista de concreto y los desplazamientos del adoquinado, claramente visibles en el primer plano.

175

La mala calidad de los morteros reviste especial gravedad en el caso en que los muros son estructurales, es decir, cuando soportan las reacciones de los techos y pisos superiores. Las fuerzas horizontales tienden a deformar los paños rectangulares de pared, en forma de paralelógramos; la teoría de la elasticidad demuestra que en los casos de materiales pétreos, cuya resistencia a la tracción es muy reducida, la fractura se producirá según una línea que forma un ángulo vecino de 45° con la dirección del esfuerzo; por esta razón la gran mayoría de los paños estructurales de ladrillo, y los tabiques homogéneos se han rajado según las diagonales, dando las fracturas en cruz tan características de los fuertes movimientos sísmicos, las que se pueden apreciar en la fotografía de la fig. 4, y que han afectado sobre todo a los edificios en que la albañilería tenía poca resistencia a la tracción; defecto motivado en muchos casos por el empleo de los morteros de cal. La cal de obra que se obtiene en Lima es de mala calidad, muy desigual en sus propiedades, y se acostumbra usarla en los

morteros en proporciones muy bajas; en la zona Oeste de los Estados Unidos, el empleo de este material ha sido prohibido para cierta clase de edificios, sobre todo colegios, y una comparación entre los efectos de los temblores de Long Beach en 1933, que motivó la proscripción de la cal, y el de Imperial Valley, de mayo último, ha evidenciado lo acertado de la medida: en Long Beach, todas las escuelas fueron seriamente dañadas; en la zona del Imperial, ninguna de las construcciones escolares sufrieron la menor avería, a pesar del grado comparable de ambos movimientos. También son inconvenientes el exagerado espesor de las juntas de mortero, la mala calidad de los ladrillos, el empleo imprudente de muros de adobe en los pisos altos, la falta de resane y conservación de los mismos en los pisos bajos, la explotación escandalosa de los márgenes de seguridad en las construcciones de concreto, sobre todo en los techos aligerados: todos estos son factores que han venido a agravar los efectos del terremoto de Lima; aun más, cuando se considera la mala calidad, en general, de la construcción, tal como se ejecuta corrientemente en Lima, se debe admitir que, pese a las impresiones experimentadas durante el temblor, este sólo ha sido de intensidad semi-destructiva, como seguramente se hubiera podido clasificarlo, al contar con un adecuado observatorio sismológico.

Homogeneidad.

La segunda, relativa a la homogeneidad, conduce a materiales susceptibles de soportar por igual los efectos dinámicos del sismo, evitando que los menos resistentes, al ceder, puedan comprometer la estabilidad de los demás. Así, la cimentación deberá hacerse sobre superficie y apoyos de igual rigidez; la fotografía de la fig. 5 muestra la dislocación de algunas construcciones sobre el Espigón Oeste de la Dársena del Callao, provocada por haberse apoyado parte de los edificios sobre los muros de piedra del malecón, y el resto sobre relleno de tierra. Los materiales que forman la parte resistente de una construcción también deben ser, en lo posible, homogéneos: el concreto armado ofrece desde este punto de vista una

ventaja inapreciable, pues se presta en forma insustituible a la ligazón de los muros, bajo la forma de losas de techo; la madera, en cambio, es un mal elemento de ligazón para albañilería, pues forma con ella un conjunto heterogéneo. Sus inconvenientes ya habían sido señalados específicamente, para el caso de temblores, en el fenómeno de Long Beach, y para nuestro medio se puede citar como caso típico la Iglesia del Buen Pastor en Chorrillos que aparece en la fotografía fig. 6, la que tenía muros de ladrillo y techo de madera. La mayor parte de las iglesias de Lima, que han sufrido todas fuertes daños, tienen una constitución más o menos parecida.

Los telares son otro ejemplo de construcción heterogénea: y pocas son las construcciones antiguas de Lima y sus alrededores que no tengan averías en esta clase de tabiques. La gran cantidad de telares de madera, con rellenos de albañilería de ladrillo, concreto, y aun de adobe, ha provocado multitud de accidentes, por la caída de paños enteros de relleno; y aun en los casos en que se trata de telares con caña de Guayaquil, y sobre todo en los casos en que la altura de los techos les ha comunicado apreciable esbeltez, se han separado los elementos constituyentes de diferentes naturaleza. La fotografía fig. 7 muestra un caso típico de avería de telar, donde se acusan todos los pies derechos de la fachada.

177

Simetría.

La simetría consiste en distribuir las masas y los sistemas resistentes en forma regular a través de los edificios, consiguiendo así una colaboración armónica de todos los elementos: en todo edificio en que haya separación entre el centro de rigidez (o sea el centro estático de todos los elementos estructurales interceptados por una sección horizontal y afectados de un factor proporcional a su rigidez) y el centro de gravedad del mismo, se presentará en los temblores un par de fuerzas que tendrá por brazo de palanca la distancia entre ambos centros y por fuerzas la masa del edificio, multiplicada por la aceleración horizontal que el sismo le comunica. Esta es la explicación de los

fenómenos de rotación que se observan en algunos edificios, en todo temblor, y no son debidos a un efecto de torsión proveniente de los movimientos mismos del suelo. A esta asimetría se deben atribuir las averías que sufrió la albañilería de ambos extremos de la gran tribuna del hipódromo de San Felipe, que, por su voladizo de 11m.00 constituye un sistema en extremo asimétrico. A pesar de esto, el correcto diseño y la buena ejecución de la obra la libraron de mayores daños; simplemente, las rotaciones de toda la masa del voladizo, alrededor de un eje vertical situado cerca del centro de la tribuna, dislocaron los muros de ladrillo de relleno en los extremos de la misma, por la mayor amplitud de los desplazamientos en esos puntos.

178

Otro caso similar observado, agravado por un descuido de montaje de equipo, sucedió en el edificio principal de la Compañía Nacional de Cerveza, del Callao. Es una estructura de cuatro pisos, de forma rectangular, de 20m. de frente por 11m. de fondo, y que al nivel del tercer piso soporta dos silos de palastro de 40 toneladas de capacidad cada uno, los que, al ser armados por los representantes de la firma fabricante del equipo, no se fijaron a las vigas de acero que los sostienen. La estructura del edificio es de concreto, y el borde superior de los silos sobrepasa el nivel del cuarto piso, por una abertura con un huelgo de unos 0m.15; están ubicados, en plano, en un extremo del edificio, produciendo así una importante asimetría de masa. El terremoto provocó entre los niveles del tercer y cuarto piso, averías en las bases y partes altas de los pilares, características de flexiones exageradas, y además, estas averías eran mucho más importantes hacia los extremos que en los niveles del tercer y cuarto piso, averías en las bases y partes altas de los pilares, características de flexiones exageradas, y además, estas averías eran mucho más importantes hacia los extremos que en los pilares centrales, algunos de los cuales no mostraban daño alguno. Un examen del local permitió apreciar que los silos se habían movido sobre sus apoyos, actuando como arietes al chocar contra los bordes de la losa del cuarto piso, provocando las lesiones observadas. Es probable que si los armadores hubiesen fijado los silos, estos desperfectos se

hubieran evitado, pues el resto de la construcción no tiene averías.

Por el mismo principio de simetría, se debe buscar la mayor regularidad y compacidad posible en la distribución en plano de los edificios: si se unen entre sí cuerpos de diferentes rigideces, las ligazones entre ellos deben hacerse cargo de los esfuerzos necesarios para compartir por igual las deformaciones entre los elementos constituyentes del edificio; pero dimensionar estas ligazones para aquellos esfuerzos es prácticamente irrealizable, y en general los cuerpos de unión resultan débiles, rajándose en forma a veces aparatosa, sin que, en general, esto entrañe peligro para los edificios, pero dando a éstos un aspecto de debilidad que puede infundir temores para sus ocupantes. Este es posiblemente uno de los efectos más frecuentemente observados en Lima; para no citar sino algunos casos, señalaremos desperfectos de esta naturaleza en el Círculo Militar, en el Cuartel Guardia Chalaca, en el Pabellón de Cadetes de la Base Aérea de Las Palmas, y en multitud de construcciones privadas: es mejor, en casos similares, establecer una franca solución de continuidad entre elementos disimilares, y dejar un margen prudencial para que en sus oscilaciones estos cuerpos de edificios no choquen entre sí.

179

Rigidez.

Otro requisito de una buena construcción es su rigidez. En el caso de edificios asísmicos, las opiniones están divididas, pues algunos preconizan la adopción de estructuras perfectamente rígidas, mientras que otros creen que se aminora el costo dando cierta flexibilidad a uno o dos de los pisos inferiores, para que éstos amortigüen las acciones transmitidas al resto del edificio por las trepidaciones horizontales del suelo. Cualquiera que sea la solución adoptada, es necesario que las secciones de los elementos puedan soportar los esfuerzos engendrados, ya sea por la perfecta rigidez, o por las deflexiones importantes que pueden presentarse en los elementos flexibles. Los constructores europeos parecen restar importancia a este requisito de las

construcciones en países sísmicos; así, en el terremoto del Kwanto, el edificio Kaikan, de concreto armado, ejecutado según procedimientos europeos, se derrumbó íntegramente;; y hemos podido apreciar dos casos similares en el terremoto de Lima: uno es el tercer piso de un edificio auxiliar de la ya citada Fábrica Nacional de Cerveza (construido por una firma europea), que soportaba en su azotea un tanque de 400 metros cúbicos de agua: debido a la esbeltez de los pilares que sostenían el techo del tercer piso, con las primeras sacudidas osciló violentamente todo ese plano, con destrucción de los pilares y caída del techo sobre el tercer piso, cayendo el tanque hasta la planta baja, después de atravesar los otros dos pisos restantes. La fotografía fig. 8, muestra algunos de los pilares del tercer piso, colgando de sus extremos inferiores por sus aceros de refuerzo: se puede apreciar la exagerada esbeltez de estos elementos, que si bien soportaban perfectamente las cargas verticales para los cuales fueron diseñados, no ofrecían ninguna garantía para fuerzas horizontales. La misma vista permite percibir las vigas del techo de la planta superior del edificio, descansando sobre su piso.

El otro caso, enteramente similar, es el de los edificios de la Escuela Nacional de Agricultura, construidos por la misma compañía, y que presenta para algunos de sus pilares secciones mínimas, de 0m. 25 por 0m. 25, para alturas de 5m. 50, con armadura de 4 barras de 5/8 de pulgada, pudiéndose apreciar en la fotografía fig. 9 los graves desperfectos que estos edificios han experimentado.

En cambio, el comportamiento de las construcciones rígidas y de primer piso flexible se ha podido experimentar en Lima, con los edificios Boza y Raffo ya citados anteriormente.

Ambos tienen un plano bastante similar, pues forman rectángulos de 30m. por 13m. el primero, y de 48m. por 13m. el segundo; las alturas son las correspondientes a seis pisos (26m.), pero además, el Edificio Boza tiene una torre adicional que eleva su altura total a 44m. Las necesidades arquitectónicas condujeron al diseño de estos dos edificios

según procedimientos diferentes. El edificio Boza es una armazón de pórticos hiperestáticos superpuestos, de gran rigidez, mientras que el edificio Raffo, cuya planta baja tiene una altura de cerca de 6m. y vigas-tabiques de gran altura y rigidez en el segundo y tercer pisos, es asimilable a un sistema de zona baja flexible. Los movimientos del terreno han producido en este caso deterioros en la torre del edificio rígido, demostrando que las vibraciones se han transmitido en su integridad a las partes altas, mientras que en el Edificio Raffo, los daños se han localizado en la parte flexible, protegiendo los pisos altos. Cabe señalar que ninguno de estos dos edificios habían sido diseñado como asísmico, y que ninguna de las averías ha sido de carácter estructural, lo que confirma que edificios bien contruidos para cargas verticales, soportan satisfactoriamente los temblores violentos. En ambos casos, los daños han afectado a los elementos de relleno exclusivamente, y todos los demás edificios elevados de la ciudad han experimentado daños comparables, de la misma naturaleza.

181

En los edificios con armazón estructural, estas rajaduras en los tabiques no afectan la seguridad del edificio mismo, aunque pueden provocar una disminución de su rigidez, es decir, pueden alargar su período propio de vibración: el método experimental de determinación de esta característica es pues una verdadera auscultación que conviene realizar después de cada temblor fuerte.

En cambio, si los muros mismos son estructurales, y han sufrido agrietamientos o averías importantes, se puede considerar el edificio como materialmente debilitado. Para evitar estas acciones, se puede emplear un mortero fuerte, por ejemplo, 2 6 3 de arena por cada parte de cemento, o combinar esta precaución con un refuerzo metálico, entre las juntas de mortero, formando el ladrillo armado: en Europa el refuerzo metálico en la albañilería es de empleo constante; más aun, se aprovecha del plano de los pisos para correr además unas platinas que, cruzando los edificios de lado a lado, se anclan en los muros; estos refuerzos se conocen con el nombre de *chainages* o

encadenados, en Francia. En todo caso, para prever los casos de temblores fuertes, es prudente establecer anclajes metálicos convenientemente dispuestos en las esquinas salientes de los edificios, donde la falta de continuidad del muro puede provocar la formación de grietas que en algunos casos llegan hasta desprendimientos de parte del diedro. Se debe proscribir la cal, tal como se ha hecho en otras partes; en Lima la mayor parte de los edificios en que el mortero ha sido a base de cal se han agrietado en forma grave.

182

Las escaleras son otro punto delicado en las construcciones, pues su dirección inclinada las transforma en elementos de arriostramientos, que quedan así sometidas a esfuerzos para los cuales no han sido dimensionados. Es así como en la zona correspondiente a la planta baja del edificio Raffo, que ha actuado como zona flexible, los tramos de las dos escaleras acusan marcadas rajaduras; la fotografía fig. 10 muestra este mismo efecto en la Escuela de Agricultura de la Molina, donde la rigidez del pozo de las escaleras ha provocado la caída de un paño íntegro de muro: los tramos se encuentran también en este caso fuertemente dañados, sin que se deban considerar como haciendo peligrar la estabilidad de esa parte del edificio.

Estabilidad.

Las condiciones de estabilidad aconsejan no tener edificios demasiado altos, o con grandes masas en los pisos elevados; y evitar el aprovechamiento de todo material cuyo equilibrio dependa principalmente de las fuerzas de rozamiento, pues es sabido que las trepidaciones, al poner en movimiento relativo a los cuerpos, disminuyen las reacciones que éstos ejercen entre sí, mermando proporcionalmente las fuerzas de rozamiento. En estas condiciones están los macizos pulverulentos o coherentes que caracterizan ciertas formaciones aluviales, los terraplenes y rellenos en carreteras y algunas obras de construcción.

Bajo la acción de las vibraciones, estas masas se comportan como flúidos, pudiendo entonces perder su estabilidad,

habiéndose presentado el 24 de mayo dos casos de este fenómeno: uno en ciertas zonas de las faldas del Morro Solar, que se deslizaron sobre la pista de La Herradura, y otro en Pasamayo, donde las arenas de los cerros destruyeron algunos tramos de la carretera a Chancay.

Ha sido esta misma acción la que ha producido serios daños en los espigones Nos. 2 y 3 del Terminal Marítimo del Callao (cuyo corte transversal aparece en la figura 11), así como sobre los terraplenes de la antigua Dársena, a pesar de que éstos tienen ya más de 60 años de ejecutados.

El empuje de la masa semifluida de arena y lodo que constituye el relleno hidráulico, empuje activado por las vibraciones del terremoto, ha deformado y desplazado los pilotes sobre que han sido construídos los espigones, separando los que quedan a ambos lados, y ejerciendo sobre las vigas terminales de los cabezos de tales espigones una tracción que las ha fracturado, determinando en ellas varias grietas, que aparecen representadas en la figura 12. Esta figura también presenta, muy exageradamente, el aumento de las dimensiones transversales de los espigones, pero las cotas permiten estimar en su justo valor los hechos constatados. Uno de los fenómenos que más ha llamado la atención entre los efectos del terremoto, ha sido esta producción en las vigas terminales de los cabezos de los espigones, de enormes grietas que las atraviesan de arriba abajo, y cuyos labios aparecen extrañamente levantados, según se ve en la figura 14. Las figuras 13 y 14 muestran: la primera, la disposición de las armaduras de las vigas terminales de los espigones; y la segunda, un croquis de las fracturas producidas. La forma cómo se han producido estas fracturas, que a primera vista parece difícil de explicar, se debe en mi concepto a que no estando alineadas las líneas de resistencia a la tracción (materializadas por las armaduras inferiores, en el centro de los tramos y por las superiores en los extremos de ellos, sobre los apoyos), las tracciones que han actuado a lo largo de los espigones han formado un par que ha determinado la rotación de las dos mitades de la viga, en la forma explicada.

Los desquiciamientos de los espigones bajo la presión interna del relleno hidráulico han repercutido en parte de los almacenes que reposan sobre ellos, y toda la obra requiere una costosa reparación.

Debo señalar que la zona de ampliación del puerto, ejecutada hace solamente un año, no ha experimentado daño apreciable en sus puntos de contacto entre el relleno hidráulico y el muelle de concreto: probablemente ello se debe a que en este caso el relleno se halla contenido por un pedraplén mucho más ancho que el existente en los espigones Nos. 2 y 3 que tanto han sufrido.

184

En conclusión, ya que no podemos estar seguros de haber entrado en un dilatado período de calma sísmica, más vale prevenir que curar: construir bien es una garantía casi suficiente para resguardar la vida humana y la propiedad, y no cuesta mucho más que construir mal; pero para que pueda imperar este espíritu, es indispensable un reglamento de construcciones bien estudiado, cuyo estricto cumplimiento se imponga con firmeza: el momento actual no puede ser más oportuno para una reforma en este sentido.

NOTA

(*) El presente artículo fue publicado originalmente en la *Revista de la Universidad Católica*. Setiembre-Octubre, 1940; T. VIII; Nº 6-7; pp. 294-329.

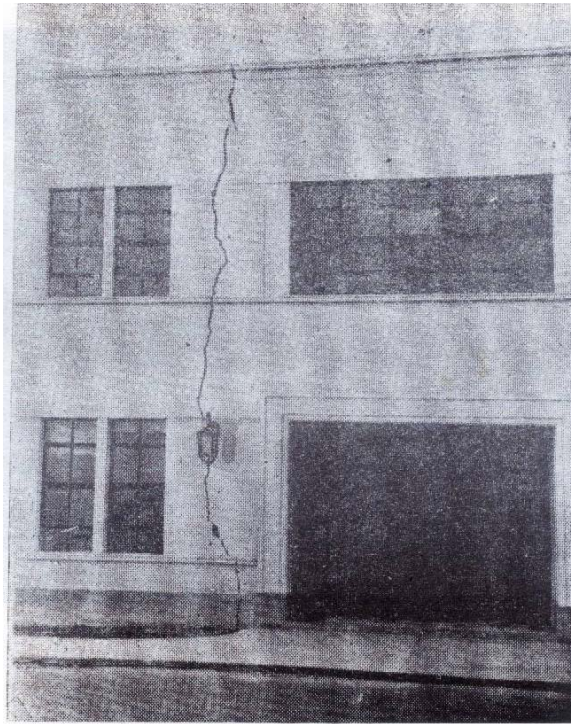


Fig. 1



Fig. 2

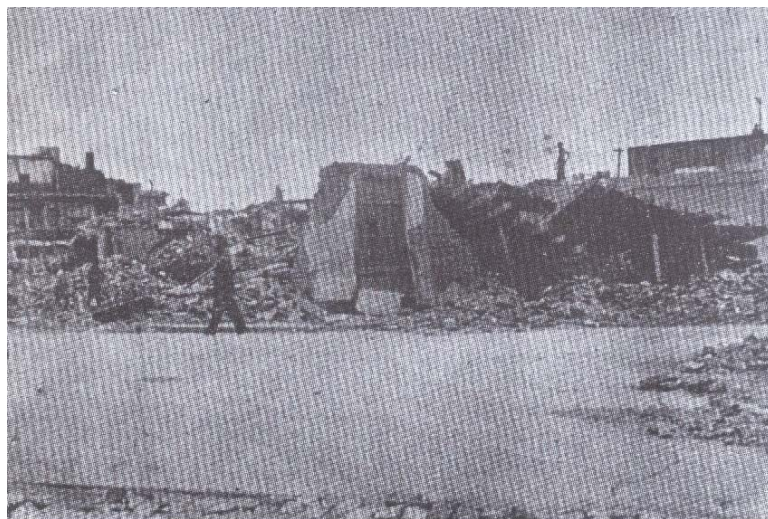


Fig. 3

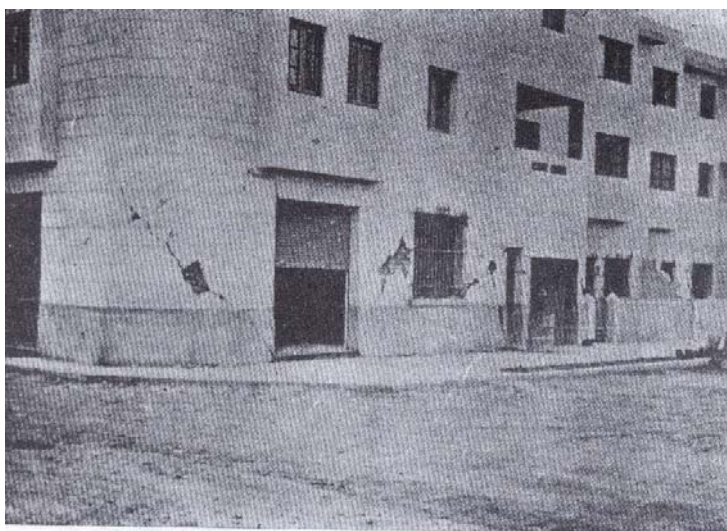


Fig. 4

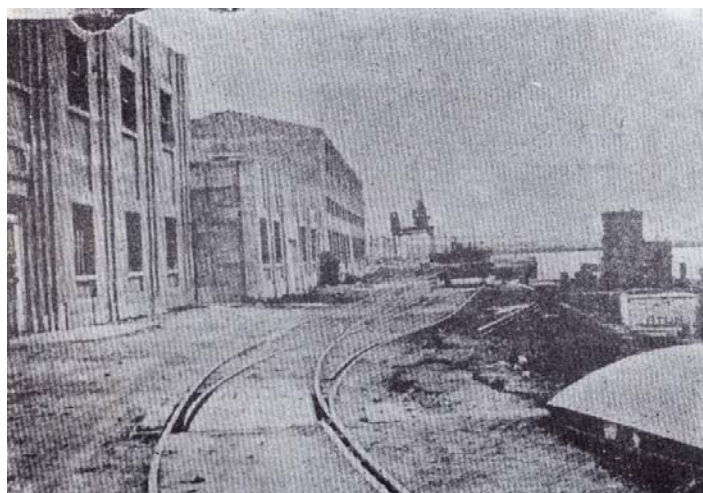


Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

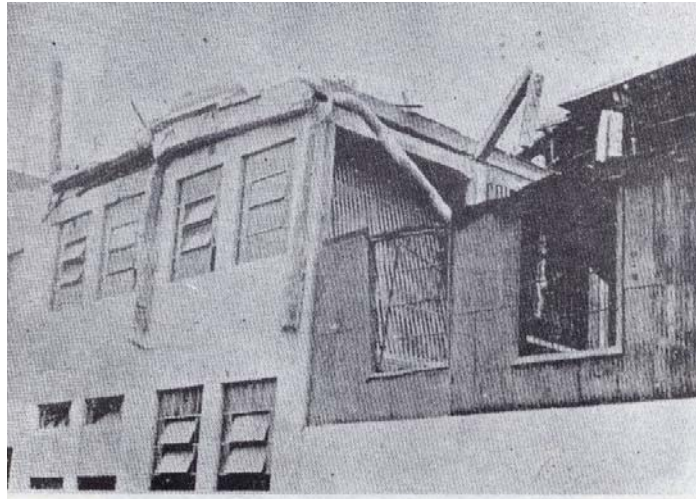


Fig. 8



Fig. 9

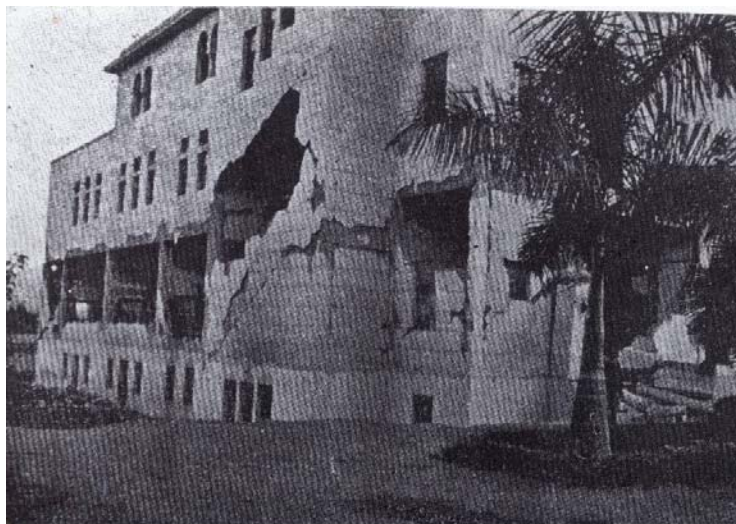


Fig. 10

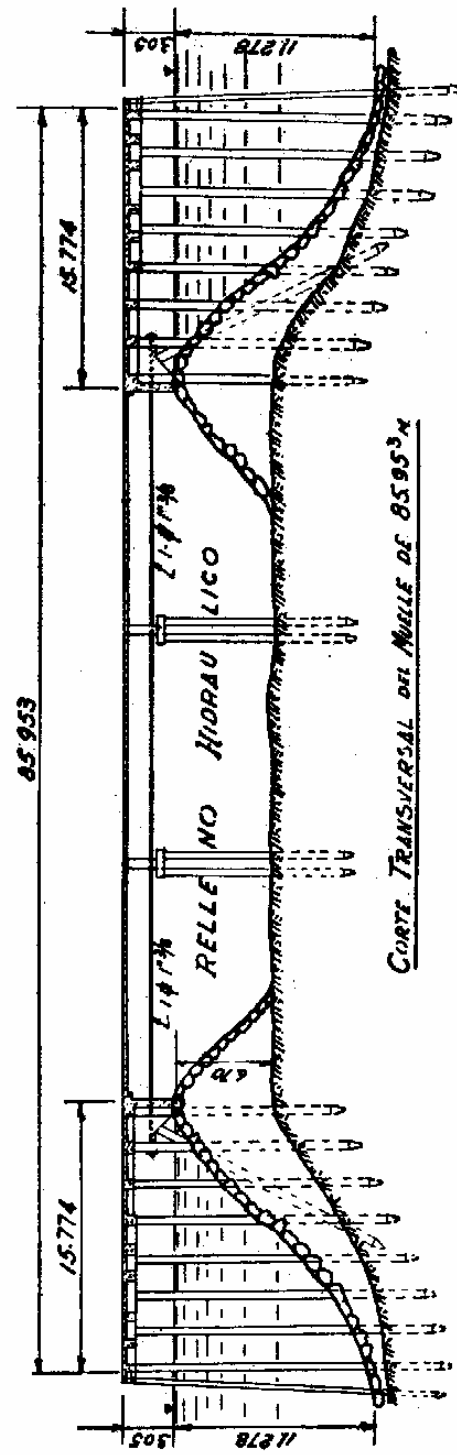


Fig. 11

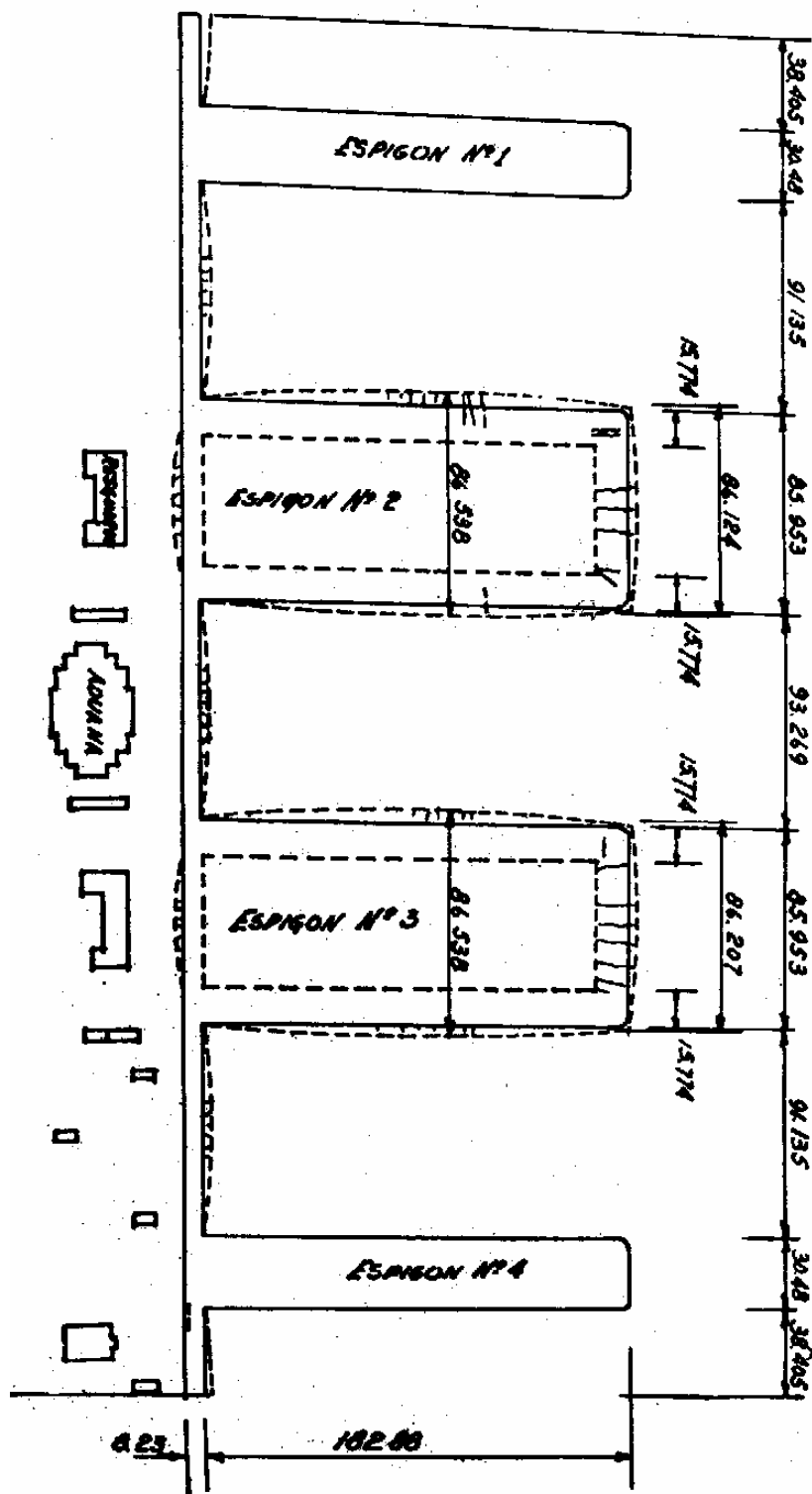
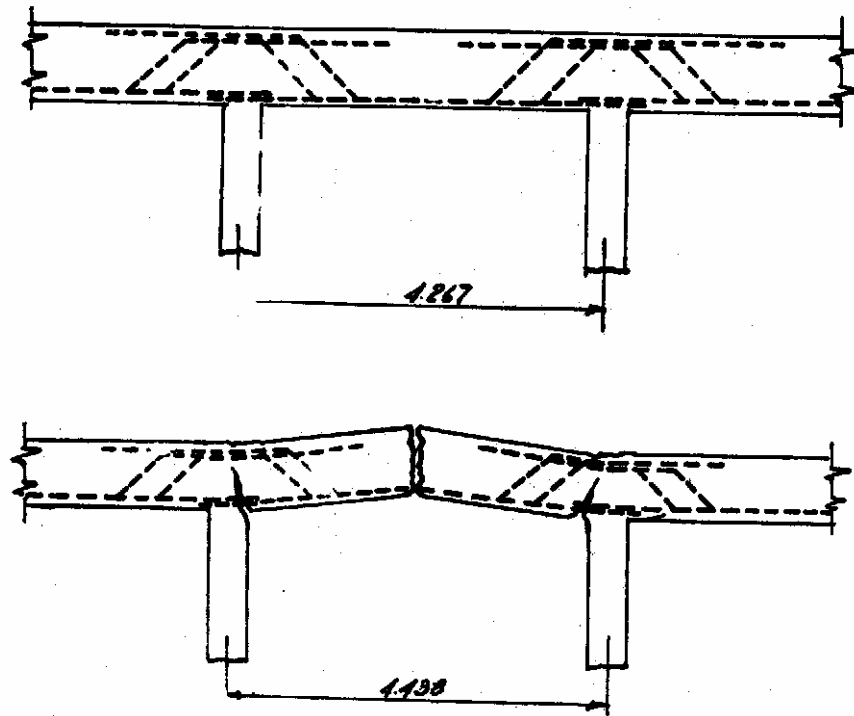


Fig. 12



Figs. 13 y 14

NOTA:

El presente artículo fue publicado originalmente en la revista de la Universidad Católica. Setiembre-Octubre, 1940; T.VIII; N° 6-7; pp. 294-329.

Después, el artículo se reprodujo en la Revista de la Universidad Católica N° 6 del 30 de diciembre de 1979, contando con el prólogo del Ing. Fernando Giuffra Fontanés, que en aquél entonces desempeñaba el cargo de Director del Programa Académico de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.