

Construcción y terremotos

Los diferentes elementos de una construcción deben tener una relación armónica entre sí y con el suelo.

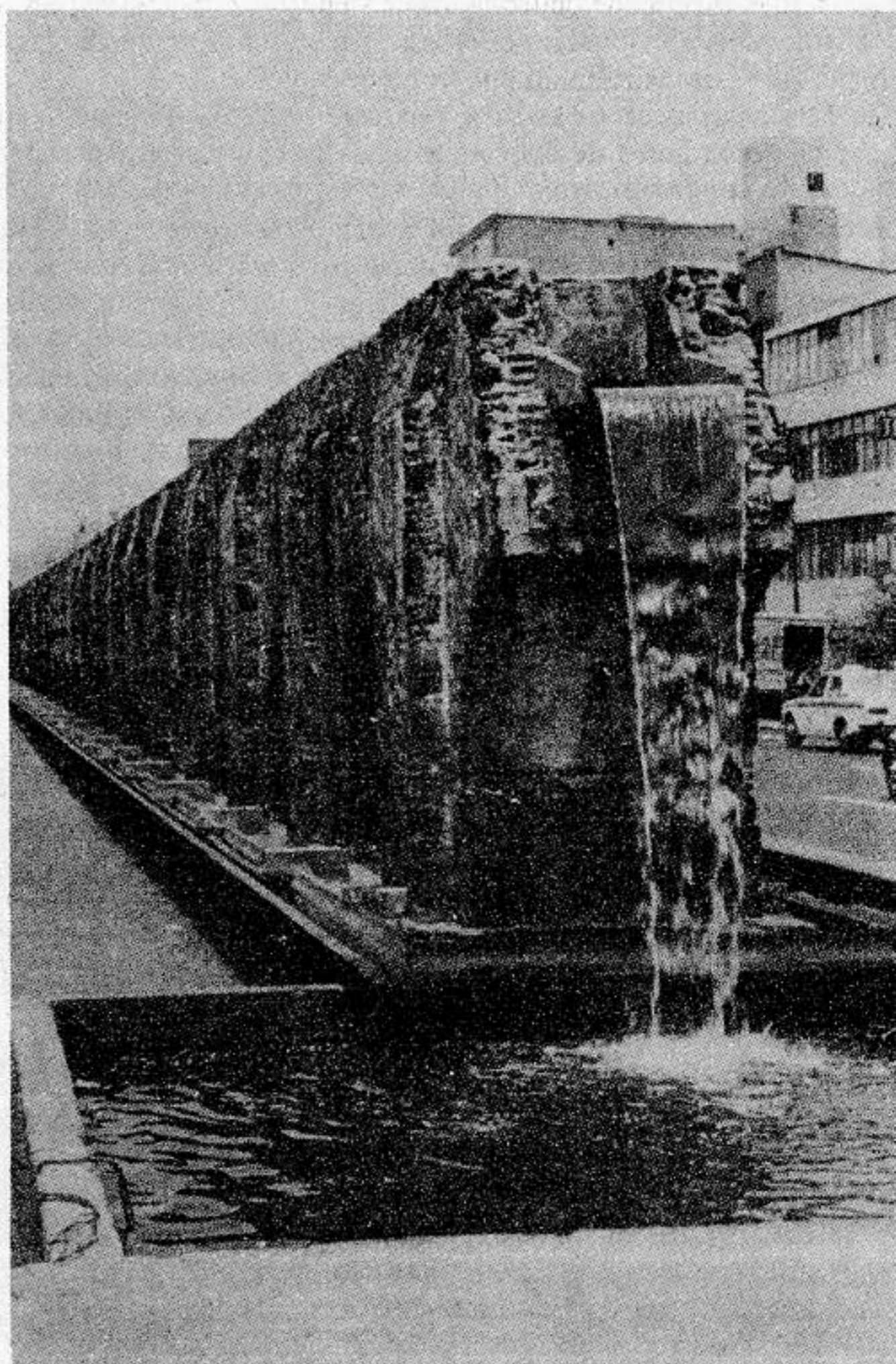
G. OTTO FRITZ DE LA ORTA*

Estuve en Alemania durante la fase de reconstrucción posterior a la guerra, donde por razón natural de desarrollaron métodos, procedimientos y criterios para realizar una mejor construcción, cuya funcionalidad fuera más eficiente y los materiales empleados estuvieran a su máxima capacidad. Esto dio lugar a la técnica de estructuras en unión, estructuras no planas, concreto y acero preforzado y todo ello ha significado un avance extraordinario en las técnicas para construcción.

En la ingeniería se tienen varios puntos de vista que considerar, sobre todo, si se quiere hacer una estructura alta. Hay tres factores básicos que tomar en cuenta. El primero es el conocimiento del suelo. El suelo se comporta de acuerdo a leyes fisico-químicas precisas, leyes que conforman la geotécnica.

Nuestra ciudad corresponde a la cuenca de México, mal llamado Valle porque no hay una corriente de agua que lo señale así; y esta característica de suelo hace que la forma de construir en la ciudad de México sea única. Tenemos arcillas muy compresibles, contenientes de una cantidad de agua muy elevada y que pueden perder parte de su volumen. Todo suelo sustentando con estas características a una estructura, sufre deformaciones mucho muy acusadas. Este primer aspecto del conocimiento del suelo ha sido en los últimos años objeto de estudio por parte de los técnicos, individuos de gran capacidad que han comprendido el comportamiento de dicho suelo. Desde luego que fuimos pioneros en el estudio del suelo mexicano, quiero citar nada más al maestro don Nabor Carrillo y al maestro Leonardo Zeevaert. El conocimiento del suelo permitió hacer cimentaciones adecuadas, como la ampliación de base; ello es cuando simplemente se hace fluir a las cargas en una zona muy amplia que sea soportable por el tipo de terreno, que particularmente en esta cuenca de México gran parte son suelos

* *Profesor de la Universidad Nacional Autónoma de México, de la Technische Hochschule Hannover, Alemania y de la Universidad de Arlington, Texas, E.U.A.*



La dificultad para dotar de agua a la población de la ciudad de México, dada su altura, hizo que desde la época precortesiana se realizaran grandes obras hidráulicas como el acueducto de Chapultepec.



El Distrito Federal está ubicado sobre un subsuelo blando que se está hundiendo, sobre una zona altamente sísmica y además, está lejos de fuentes de agua y energía.

blandos, producto de la ubicación de materiales de otras zonas para llenar lo que antes era una laguna.

¿Es decir, materiales aluviales?

Los materiales aluviales son producto de un acarreo, en este caso no se ha hecho un trabajo natural, sino se han traído de otros lugares y con tales materiales fue desecado el suelo, pero sin perder esta característica de gran compresibilidad.

También hay terrenos intermedios con cierta firmeza y finalmente, los terrenos firmes, bastante más resistentes que los primeros, ya referidos anteriormente.

Entonces entramos en contacto con la segunda parte importante que es la cimentación. La cimentación es aquella estructura que, generalmente abajo del nivel del suelo, permite transmitir a las capas inferiores del subsuelo las cargas de la superestructura. Esta cimentación puede ser grandemente variada, tanto como el tipo de terreno o la estructura en sí, en nuestro país se dan las siguientes, por citar sólo algunas:

Por sustitución de volumen; es decir, se quita un volumen del suelo equivalente al peso del edificio que se va a hacer, y el estrato no se ve modificado ni estática ni estratigráficamente; utilizando pilotes, que es una técnica ya empleada por los indígenas hace mucho tiempo, quienes conociendo la poca resistencia del suelo se vieron obligados a aumentarla, sobre todo para la construcción de las grandes pirámides, cuya constitución de piedra en masa, es extraordinariamente pesada. Desde luego la técnica del uso de pilotes no es originaria de la ciudad de México. Se ha utilizado en otras zonas del país en épocas lejanas. Los pilotes servían para sustentar grandes estructuras y en la ciudad de México adquirieron una perfección notable durante la época prehispánica, casi todas las estructuras pesadas dentro del lago se erigieron con esta técnica.

El templo mayor que conocemos ahora está cimentado sobre pilotes. Pero no es el primer templo del que nos habla la

historia, había ya antes un templo original, un templo quizá menos pesado que fue destruido durante una inundación. Esto hizo que se solidificara el pilote, que el suelo sufriera la solidificación proveniente del hincado del pilote, siendo capaz de soportar miles de toneladas sin hundirse.

La nueva ciudad española se sustentó directamente sobre las infraestructuras de estos templos y tuvo la suerte de contar con un terreno más sólido.

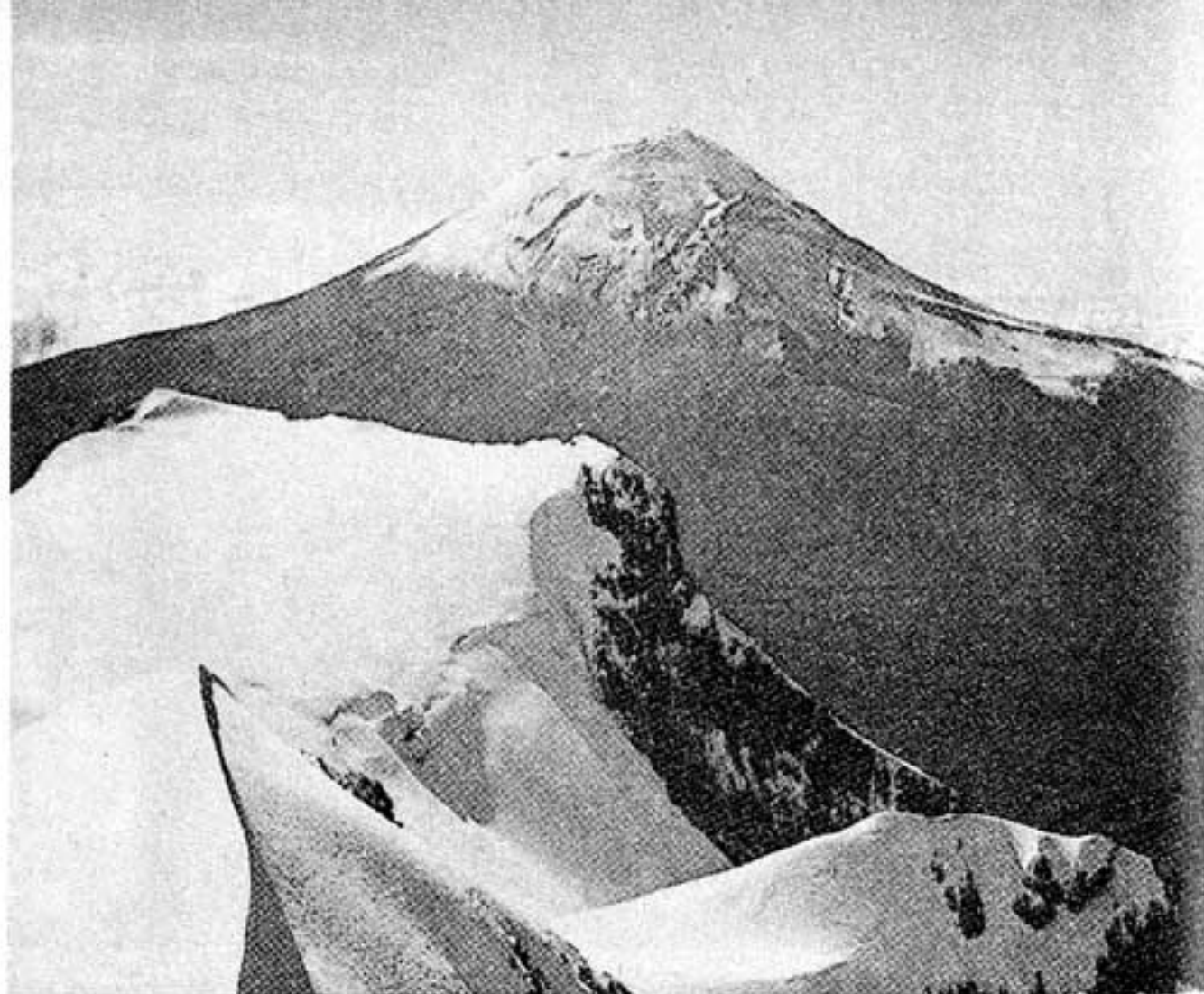
¿Se puede decir que el tipo de cimentación que se hace ahora en la ciudad de México está diseñado con base en las características del suelo?

Sí, fundamentalmente. Las cimentaciones serían: pilotes, que pueden dividirse en dos secciones, aquellos que trabajan por fricción entre el suelo y el pilote y los que trabajan por contacto directo entre las capas sólidas; estos son de mayor longitud.

El pilote sólo es una pieza hincada en el terreno. Imaginemos un poste con el cual se está midiendo la resistencia del terreno por medio de golpes, los cuales hacen que el suelo se solidifique, entonces un haz de pilotes causa un aumento en la resistencia del suelo, además que trabaja por fricción. Ahora, muchas veces el pilote es tan largo que al profundizar toca de punta la capa sólida del terreno, entonces, es como si fuese una columna enorme que sustenta toda la superestructura.

Pero habíamos hablado de tres elementos básicos en construcción; el tercero es la estructura o superestructura; aquello que se desplanta del nivel del suelo hacia arriba. Esta estructura tiene que estar en armonía con la cimentación y la cimentación en armonía con el suelo. No puede haber ningún elemento de distorsión porque ello causaría la ruina.

Entonces, la estructura, además de las cargas que generalmente sustenta —y que son verticales— producto de su masa es que son atraídas hacia el centro de la tierra por la gravedad y están sujetas a sollicitaciones de tipo dinámico y en nuestro caso



El "Valle de México" ha estado sujeto a varios esfuerzos tectónicos, así como a erupciones volcánicas ocurridas desde principios del terciario hasta épocas recientes.

principalmente a movimientos sísmicos. Tal actividad telúrica es de carácter volcánico y proviene de la liberación de energía al ocurrir choques en las placas del subsuelo a unos 40 o 50 km de profundidad y la onda energética que se libera después de un choque alcanza, a través de su paso por los estratos del subsuelo hacia la superficie, la costra exterior, donde puede haber una mayor o menor expulsión de esas ondas. Estas ondas al llegar a la ciudad de México que no es más que un receptáculo con agua, logran expandirse de una manera más violenta; es decir, no hay fricción que las vaya amortiguando. Es el caso de una onda dentro de un vaso de agua. Por tanto, de ahí la onda se mueve libremente y se refleja tanto en la superficie como en las paredes exteriores de este vaso, es por ello que el temblor del 19 de septiembre duró tanto tiempo. Ahora bien, existe un peligro muy grande, porque cuando se da una frecuencia particularmente constante de vibraciones, puede entrar en consonancia o resonancia con la frecuencia propia de vibración de un edificio. La frecuencia propia de vibración es un factor de la geometría, de los movimientos de inercia, de la disposición de los diversos sistemas constitutivos de la estructura y puede caracterizarse por enormes deformaciones. Estas deformaciones en un estado de consonancia o de resonancia plena conducen casi siempre a la rotura de la estructura y una vez quebrada todo se viene abajo. Puede resquebrajarse la superestructura o la infraestructura o ambas.

Estas condiciones de vibración normales de un edificio, ¿tienen que ver con: el tamaño del edificio y la forma geométrica de éste?

Sí, es decir, la geometría en general. Dentro de la geometría está el tamaño mismo, la disposición de los diversos elementos constitutivos de la estructura, el momento de inercia resistente de cada material, el tipo de material empleado, etc.; en fin, son muchísimos los elementos que están influyendo de una manera directa en la característica de respuesta dinámica de la propia estructura.

Esto quiere decir que, ¿el haber extraído agua del subsuelo de la ciudad de México ha cambiado su forma estratigráfica?

Desde luego que sí, el hecho de que nuestras arcillas tengan una gran cantidad de agua ha permitido que al extraer por medio de pozos artesianos —sobre todo al final del siglo pasado y principios de este— grandes volúmenes de agua, estos no fueron recuperados por la arcilla y al perderlos ha sufrido acentamientos de volumen que se han visto reflejados en un hundimiento general de nivel en el suelo del "valle" de México.

¿Existen normas de uso del subsuelo?

Sí, y se emplean como un elemento más en el momento de la construcción.

¿Cuáles han sido las medidas tomadas para decidir si se continúa sacando agua?

Desde luego ya no debe sacarse agua; esto se prohibió durante años y entonces se vio la necesidad de traer agua fuera de la cuenca del "valle", a un gran costo puesto que nosotros estamos a niveles muy elevados.

Los materiales de construcción que se utilizan en las cimentaciones a las que usted se refirió, ¿deben ser diferentes y acordes al lugar donde se establezca el inmueble?

Deben ser propios; esto es, han de estar en consonancia con el tipo de estructura que se va a construir.

Cuando un constructor o arquitecto van a realizar una construcción, ¿qué significa para ellos el suelo de la ciudad?

Desde luego que el tipo de suelo puede valorarse plenamente mediante una serie de análisis de laboratorio, que hace posible conocer a profundidad cuál es el subsuelo, qué características físicas, químicas y mecánicas posee y de acuerdo con ellas, se diseña la cimentación. La cimentación puede ser adecuada perfectamente a las características, primero del suelo y después de la superestructura como elemento de liga entre lo que se construye arriba y el suelo mismo, que representa una enorme estructura adicional.

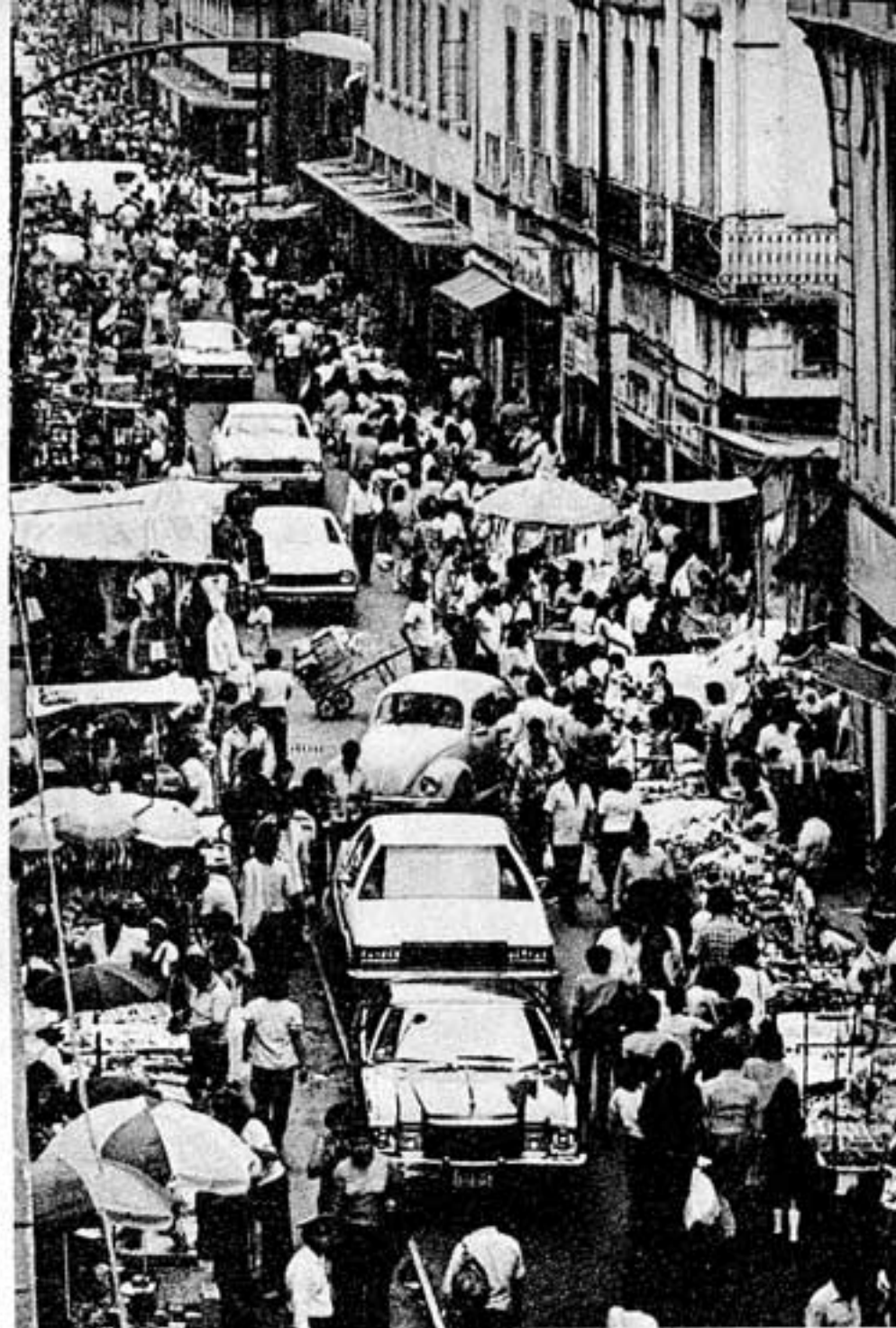
Cuando se diseña un edificio ¿siempre se debe tomar en cuenta el uso que se le va a dar?

Desde luego, no sólo el uso sino para qué se quiere cada una de las capas habitadas. Puede darse el caso de que exista en algunos niveles maquinaria trabajando, lo cual provoca un nuevo elemento de conocimiento y de cuidado, puesto que esta maquinaria dentro del mismo edificio puede provocar por sí misma, sin necesidad de un temblor, las condiciones de resonancia.

¿Por qué gran parte de los edificios que se cayeron por la acción del sismo, siempre se aplastaron en la parte superior?

Si analizamos la manera en que se comporta un péndulo invertido, un péndulo está sujeto en su base quedando libre de vibrar en la parte superior, y es ahí donde se presentan las mayores deformaciones; entonces resulta lógico pensar que en algún momento —cuando la deformación se dio en la parte superior— tal efecto hizo que las columnas no pudieran resistir rompiéndose.

En general podemos decir que el comportamiento de las estructuras sigue las leyes de la mecánica de manera más amplia, y todos los elementos estructurales, columnas, travesaños, lozas, muros, etc., todos ellos en una armonía de tipo estructural, nos están dando respuestas a cada tipo de sollicitación que —como dije—, son las cargas muertas provocadas por el peso propio de las piezas, las cargas vivas son las personas que la habitan y su hábitat, que está sobre cada uno de estos elementos, gravitando; y las sollicitaciones de tipo dinámico que son generalmente horizontales. Si hay un empuje horizontal éste puede ser instantáneo; entonces la estructura se mueve de acuerdo con su frecuencia de vibración y llega a estabilizarse después de cierto número de segundos o periodos. Si hay, como se ha visto en este último sismo, una persistencia de una frecuencia de vibración, entonces la estructura o partes de ella puede llegar a tener enormes deformaciones y llegar a la rotura de ésta. Tal circunstancia provocó que las fallas se presentaran no sólo en la parte superior, sino que hubiera un efecto cortante en la parte inferior, tan grande, que separara, zigzagueara y trozara



La ciudad de México es la concentración urbana más grande del mundo además de ser la capital política industrial, financiera, comercial y cultural del país.

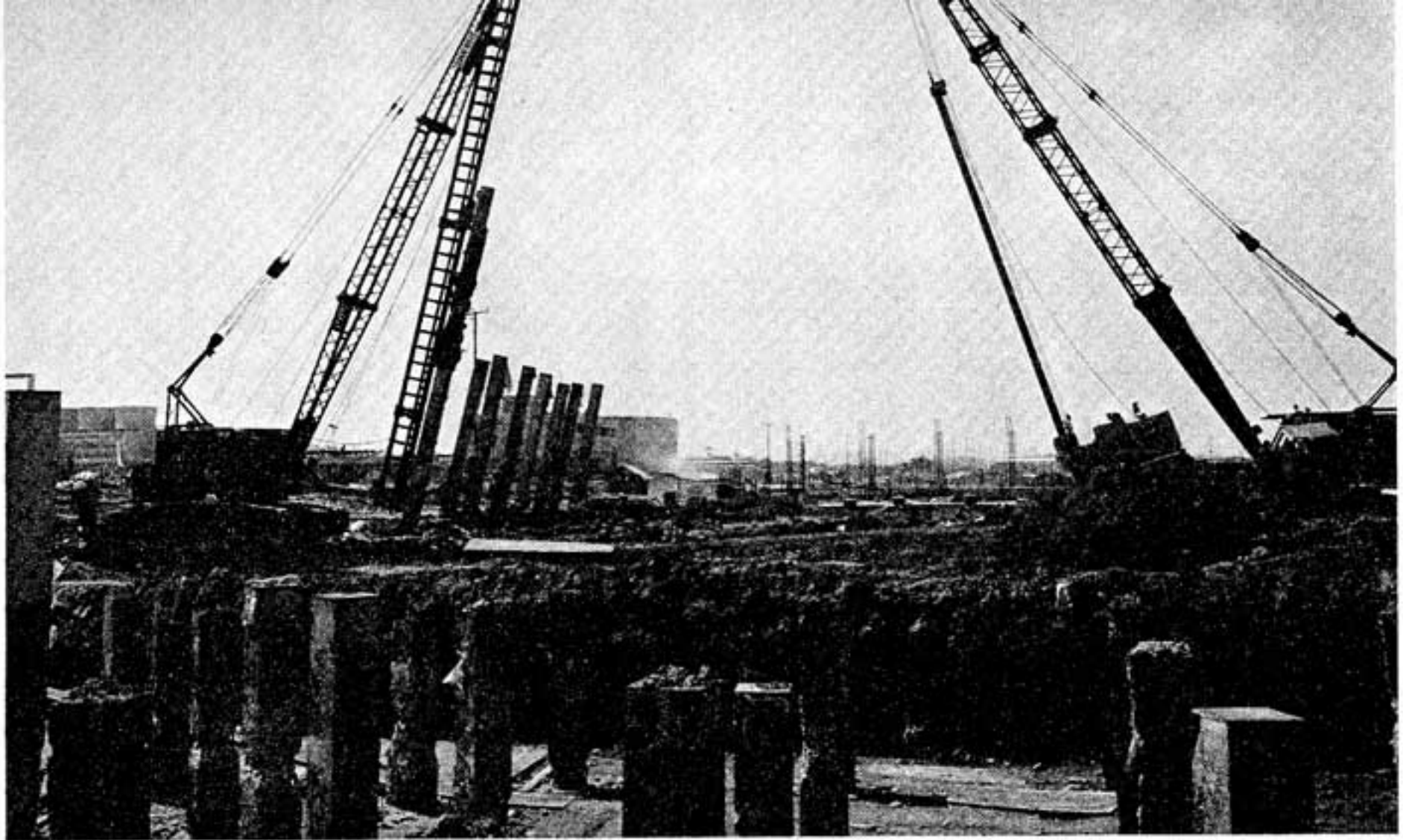
las columnas desde su empotramiento dentro del suelo y esto se dio a diversos niveles. Hemos tenido que sufrir una enorme pena para comprender un poco mejor el fenómeno de las estructuras sujetas a cargas dinámicas, lo que seguramente nos permitirá construir mejor en el futuro. La observación de los daños, la observación de las características del sismo, nos posibilitará a elaborar mejores normas.

A raíz de esta experiencia, ¿qué seguridad existe por parte de los constructores al hacer edificios contra sismos mucho más fuertes que el pasado?

Está en manos de ingenieros o de aquéllos que diseñan, del artífice de la construcción, darle a la estructura las características de seguridad necesarias. Se ha visto que dentro de esta cauda de construcciones dañadas hemos encontrado edificios que se han comportado perfectamente, porque fueron construidos con un criterio tal que permiten poseer una gran capacidad de seguridad en su estructura y esto se ha reflejado en el comportamiento extraordinariamente correcto de algunas estructuras.

¿Los edificios se construyen en función de evacuar rápidamente a la gente?

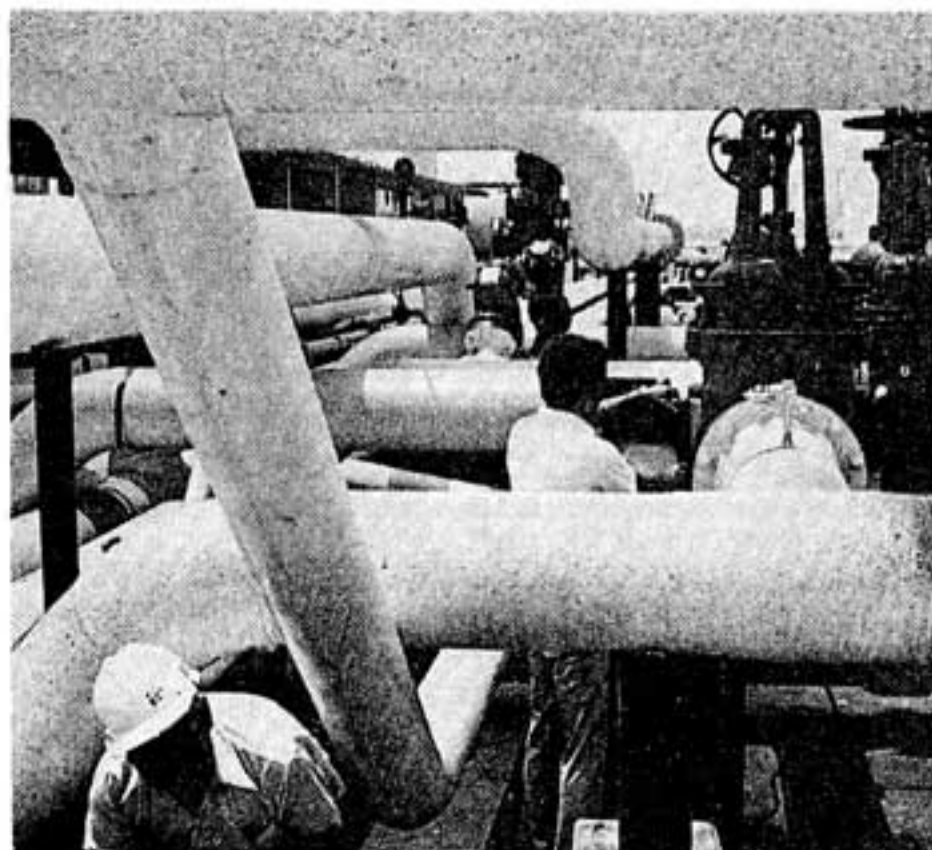
Todos los edificios deben poseer salidas de seguridad donde en pocos minutos pueda desalojarse a la población habitante en ese momento.



¿Tuvo alguna influencia en las ondas de propagación del sismo la construcción del metro?

Es probable, sin que pueda decirse de una manera definitiva que las paredes del metro hayan servido como espejos para reflejar las ondas antes referidas, y que por ello, porciones en donde hubiera suelos delimitados por las paredes del metro, hubiera existido una mayor persistencia de las ondas y sufriera amortiguamientos, ello hizo entonces que hubiera una situación hasta cierto punto curiosa. Lo que yo expreso no es más que una idea mía que no ha sido corroborada por un ningún estudio, simplemente me parece que si tenemos unas paredes verticales de una profundidad de unos 12 o 15 metros pudiera haber una situación de eco en esas paredes como si fuera un espejo, una pared de frontón, y ahí pasearse una onda entre dos paredes sin que hubiera un amortiguamiento pleno. Es posible que parte de las estructuras que están muy cercanas al metro se hayan afectado de la manera que se conoce.

La intensificación del bombeo de aguas subterráneas dentro de la urbe provoca la pérdida de presión de los acuíferos lo que trae consigo la consolidación de las formaciones arcillosas que causan el hundimiento de la ciudad.



La presencia de arcillas volcánicas de alta compresibilidad ha planteado desde la ocupación por los aztecas hasta nuestros días, problemas que constituyen un verdadero reto a la ingeniería de cimentaciones.

Cuando se realiza un peritaje ¿qué criterios se toman para decidir si un edificio puede habitarse o no?

Es muy fácil saberlo: más que de normas, se trata de un sano criterio basado en el conocimiento del perito en construcción, en México existe un cuerpo de peritos que pertenece al DDF. Los criterios que se siguen son observar, primero que nada, la estructura en sí, ver si ha sufrido deformaciones horizontales o verticales y si esto ha sucedido significa que se produjo rotura en la cimentación, una deformación en la parte sustentante que debe considerarse para emitir un juicio definitivo y saber si un edificio puede ser habitado. Es lógico que no necesite revisarse en las plantas superiores porque puede suceder que en el segundo o tercer piso o enésimo nivel no haya habido el menor daño, pero si en la parte sustentante hay daños, entonces la estructura está perdida, es por esto que una ojeada a la estructura basta para saber si puede habitarse subsecuentemente.

En general se ha tenido el criterio de desalojar los edificios en caso de duda, hasta realizar un peritaje más completo que pudiera corroborar, ratificar o rectificar el dictamen.

Entonces lo primero, ¿sería una inspección visual? ¿un peritaje se basa principalmente en esto, o si existen dudas, suponiendo que existieran estructuras de acero qué se hace?

El acero puede visualizarse no sólo exteriormente sino que puede conocerse estructuralmente por medio de rayos X, de manera que es posible observar por medio de estos aparatos a una pieza dañada.

Básicamente lo que decide un peritaje ¿es la observación de las estructuras del primer nivel?

Exactamente, pero puede suceder que una onda de tipo sinoidal haya sido la causante del desaguisado, entonces, posiblemente acontezca que no sólo en la parte intermedia o en los



La experiencia del pasado terremoto debe conducir a que se hagan modificaciones importantes en el reglamento de construcción.

estratos superiores ocurran rupturas, en general basta una mirada para saber si una estructura está o no en buen estado.

Otros arquitectos habían comentado que podría hacerse algo como sacar muestras de concreto, ¿es posible?

Sí, existe esa posibilidad pero no es necesaria para detectar si una estructura puede ser habitada o no, eso sirve para medir la resistencia del concreto. Si el concreto en sí presenta fisuras o aplastamientos ha dejado de trabajar como una estructura completa.

¿Siempre y cuando las fisuras sean horizontales?

No necesariamente, las hay de cualquier forma; de principio si una trabe tiene fisuras horizontales, sobre todo en la parte media, nos indica que la atracción en el acero fue tan grande que hizo que dejara de trabajar plenamente parte del concreto como estructura. Es decir, la zona agrietada no está actuando ya. El efecto de esta mayor deformación del acero, puesto que éste reacciona siempre a tracción, principalmente en la parte inferior de una pieza, porque en su parte media hace que el plano neutro—aquella fibra donde no hay esfuerzos— suba hacia la fibra más comprimida. En este caso particular, la concreción que está recibiendo el concreto se ve sujeta a un incremento por ser más pequeña la zona en donde se está ejerciendo dicha concreción.

Esto puede hacer que una estructura falle sin que falle el acero, que yerre por aplastamiento del concreto. Puede ser en la parte media de una trabe o dentro de las zonas donde hay movimientos negativos; es decir, donde se presenta una inversión de signos y en las regiones próximas a los nudos. El nudo es un lugar concurrente de varios elementos estructurales, llámense columnas, trabes, lozas, etc. y en un instante puede verse claramente si el nudo ha resistido el empuje del momento o si no ha sido así, se observa inmediatamente la rotura del mismo. En el caso de fisuras en el nudo todos los elementos que a él confluyen están fallados. En este caso particular no se puede pensar siquiera en una reparación.

¿Y usted recomendaría que todos los edificios utilizaran pilotes como estructura de cimentación adecuada?

No necesariamente, claro que cada edificio es un ente con características propias y en ningún momento podemos generalizar, pero se ha visto que en general los pilotes, sean fijos o sean de control, han trabajado correctamente ante los embates sísmicos que recientemente hemos sufrido.

¿Podría explicar por qué los edificios de más de treinta años resistieron perfectamente y otros de construcción reciente no lo hicieron?

La respuesta está en la geometría. La geometría que tenían los edificios hace cincuenta años nos hace comprender la existencia de mayor "pesantez", mayor "robustez" en cada uno de los elementos constitutivos y ello hizo que resistieran al sismo perfectamente.

¿La construcción que se hizo de edificios de más de cincuenta años fue mediante un cierto reglamento?

Desde luego, existen reglamentos de construcción en cada una de las ciudades de México, y este reglamento en general lo establece el gobierno de la ciudad, de manera que directamente es éste quien tiene la responsabilidad de vigilar que las edificaciones se hagan de una manera correcta desde el punto de vista estructural.

Después de estos sismos ¿cuál debería ser el proyecto de reconstrucción?

Es difícil decirlo, pero en el campo, especialmente de la ingeniería industrial deben tomarse en consideración esfuerzos que correspondan a deformaciones horizontales provocadas por sismos, tal vez pensando que éstos puedan ser de mayor intensidad, quizá un cambio en los coeficientes sísmicos sea una medida razonable para evitar mayores daños.