

EL HUNDIMIENTO DEL SUELO EN LA CIUDAD DE MEJICO Y SU REPERCUSION EN LOS SISTEMAS DE CIMENTACION

Por FEDERICO MACAU VILAR,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor una interesante información sobre el fenómeno que se reseña en el epígrafe, explicando sus causas y dando a conocer los sistemas de cimentación que se siguen en los importantes edificios de aquella gran ciudad.

I. Naturaleza de los hundimientos.

El fenómeno del hundimiento del suelo en la ciudad de Méjico viene, desde hace tiempo, preocupando a los ingenieros mejicanos, pero va cada vez tomando mayor importancia, principalmente por dos razones, a cual más trascendental: primera, por las necesidades de cimentación de los grandes y modernos rascacielos que en su actual y acelerado desarrollo se construyen en aquella capital, y segunda, por su relación con el abastecimiento de agua de la ciudad, que en los últimos veinte años ha más que duplicado su población, que ya ha sobrepasado los tres millones y medio de habitantes.

La cuantía de estos hundimientos es francamente impresionante, y sus efectos, visibles unos y ocultos otros, son, desde luego, para preocupar y dignos de ser tomados en consideración, como así viene ya ocurriendo, tanto por parte del Gobierno como por la de los ingenieros y arquitectos que proyectan y planean la construcción y urbanización de una de las capitales más bellas de América del Norte.

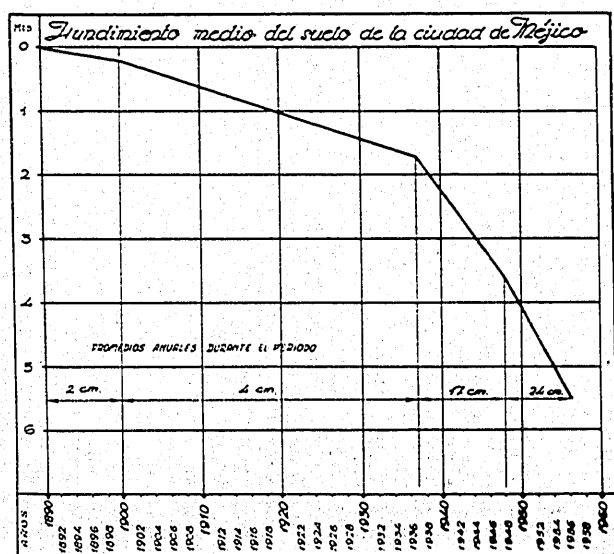


Fig. 1.ª. — Curva de los descensos medios registrados en el suelo de la Ciudad de Méjico.

Gracias al "Proyecto de Desagüe y Saneamiento de la Ciudad de Méjico", del Ingeniero Gayol, de 1891, se han podido obtener cifras concretas del valor alcanzado por estos hundimientos en varios puntos de la ciudad, y ya desde principios de siglo, la Comisión Hidrográfica y luego la Dirección de Geografía y más tarde la Comisión Hidrológica e Ingenieros Civiles Asociados, S. A., de C. V., han reunido los datos suficientes para obtener la ley aproximada que siguen estos hundimientos, que es la representada en la curva de la figura 1.ª, correspondiente a los valores medios de los mismos en el conjunto de las zonas de la ciudad, afectadas. En dicha curva se observa que de 1890 a 1900, el promedio anual de los hundimientos fué de 2 cm. por año; de 1900 a 1937, resultó ser de 4 cm. anuales; en el periodo comprendido entre los años 1938 y 1948, el promedio ha sido de 17 cm.-año, valor que sigue aumentando en la actualidad, que se calcula alcanza ya los 30 cm. anuales de valor medio, y en determinados puntos se han registrado valores que sobrepasan en los últimos años los 50 cm.-año.

Desde 1890 hasta ahora, se estima en unos 5,60 metros el valor medio del descenso total del nivel de la superficie del suelo de la ciudad. Los aumentos de estas cifras medias correspondientes a los descensos anuales ocurridos a partir de 1937 y de 1948, coinciden, por otra parte, con sendos e importantes aumentos en el caudal del agua que se extrae del subsuelo de la capital, para atender en parte a las necesidades del abastecimiento de la población y que se realiza por medio de pozos situados dentro del perímetro urbano, en cantidades tales, que han llegado ya a un gasto continuo de 9,4 metros cúbicos por segundo y que se incorporan luego a la red general de distribución.

Los peligrosos efectos que estos hundimientos producen en la ciudad son fácilmente comprensibles, habiendo empezado por la destrucción de largos tramos de la red de saneamiento, lo que ha originado más de una vez serias inundaciones en determinadas zonas de la misma. Algún tramo incluso, del Colector Central, ha llegado a quedar con la pendiente en sentido contrario a la que se le dió al construirlo, como puede apreciarse por los resultados obtenidos

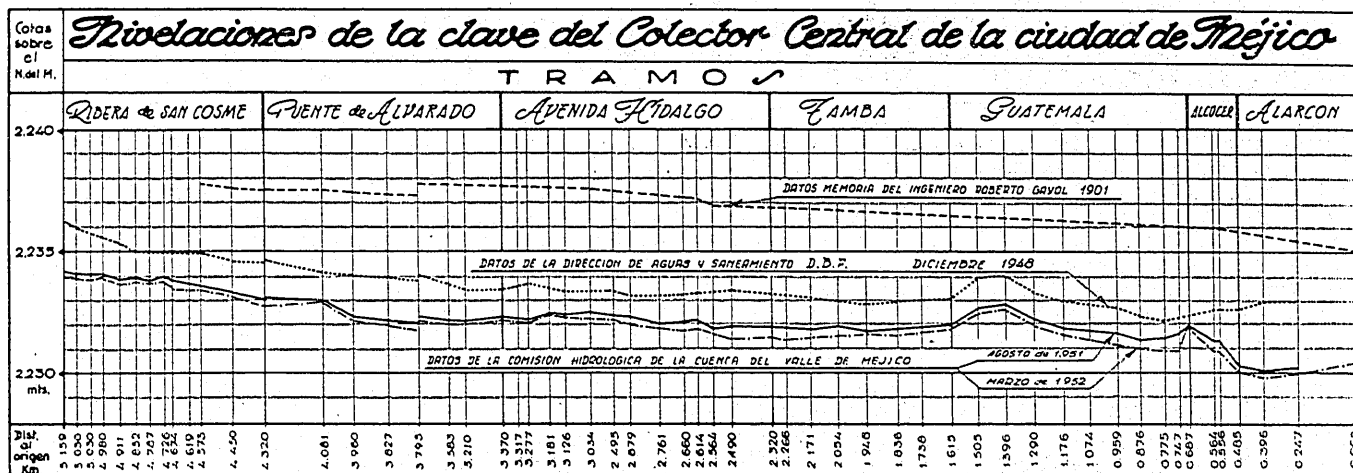


Fig. 2.^a. — Resultado de las nivelaciones hechas en la clave del colector Central de la Ciudad de México.

en varias nivelaciones hechas en su clave en diferentes épocas por distintos organismos, algunos de los cuales detallamos en los gráficos de la figura 2.^a.

Muchos edificios modernos y antiguos han sufrido desplomes, hundimientos parciales, y en consecuencia, serios agrietamientos que ponen en peligro su estabilidad, en principio sin causa aparente externa de todo ello, ya que no habían cambiado ni había habido alteración alguna en sus condiciones de trabajo ni en las de sus vecinos.

Entre los edificios antiguos merece citarse el caso de la capilla adjunta a la Basílica de la Virgen de Guadalupe, situada en un cuerpo de edificio separado de ésta por una calle de unos 10 m. de ancho. Por el extremo opuesto al contiguo a la Basílica se ha iniciado un hundimiento que ha producido, debido a la rigidez de la fábrica de sillería y ladrillo antigua con que está construida, un desplome de 4° del



Fig. 3.^a. — Desplome del edificio adjunto a la Basílica de la Virgen de Guadalupe.

conjunto del edificio, como puede verse en la foto de la figura 3.^a.

Menos espectacular, pero más curioso quizá, es el caso de la torre del campanario de la Iglesia de la Profesa, construida en la esquina que forman las calles de Madero y de Isabel la Católica. La construcción de la Iglesia, que data de principio del siglo XVII, es de rancio sabor colonial, su torre se construyó en tres épocas distintas posteriores y bastante distanciadas en el tiempo unas de otras, dándose el caso de que, al reanudarse la construcción de un nuevo tramo de la misma, el anterior había ya perdido su verticalidad, resultando al final que sólo el cuerpo superior y su remate están verticales, mientras que los dos inferiores están inclinados hacia la calle, formando ángulos aproximadamente de 1 y de 0,5° con la vertical, como se aprecia en la fotografía de la figura 4.^a.

Algunas edificaciones se han averiado, al construirse otras a su lado cuya cimentación, mucho más profunda y realizada con pilotes para resistir por adherencia y rozamiento, ha restringido el hundimiento del terreno en la zona adyacente, provocando con ello asientos distintos según su distancia, en los cimientos colindantes más superficiales, con el consiguiente deterioro de las fábricas que sustentan (fig. 5.^a).

Los modernos edificios, cimentados a profundidades hasta ahora no afectadas por estos hundimientos, quedan con su nivel primitivo, y con el transcurso del tiempo resultan más elevados que sus vecinos, como ocurre, por ejemplo, con el del Teatro Latino, cuya planta baja está ahora del orden de 1 m. más alta que el nivel de la acera y de los edificios contiguos, habiendo habido necesidad de poner varios peldaños en los extremos de la fachada de dicho teatro en la acera para salvar este creciente desnivel.

Todo ello es la causa también de la destrucción continua de las aceras, de los pavimentos, de las conducciones, etc., etc. En la figura 6.^a se muestra un ejemplo de las ondulaciones sufridas por una larga valla de cerramiento de un solar, construída con zócalo de piedra y fábrica de ladrillo.

II. Características geológicas del subsuelo.

Antes de entrar en la descripción del proceso mecánico que produce estos hundimientos y movimientos del suelo, vamos, para mayor comprensión de los mismos, a hacer una rápida y sucinta exposi-

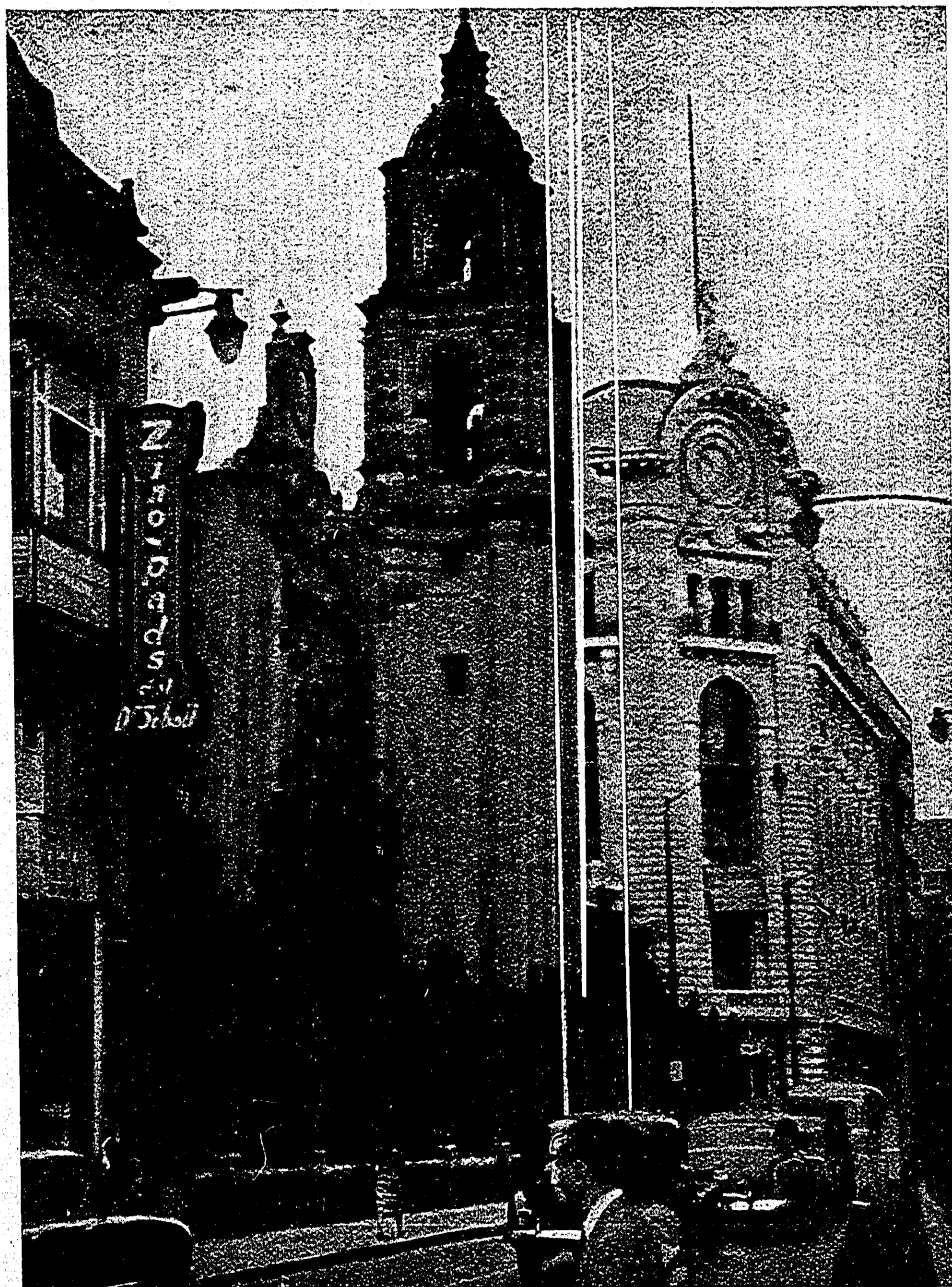


Fig. 4.^a. — Torre-campanario de la Iglesia de la Profesa en la calle Isabel la Católica esquina con la de Madero.

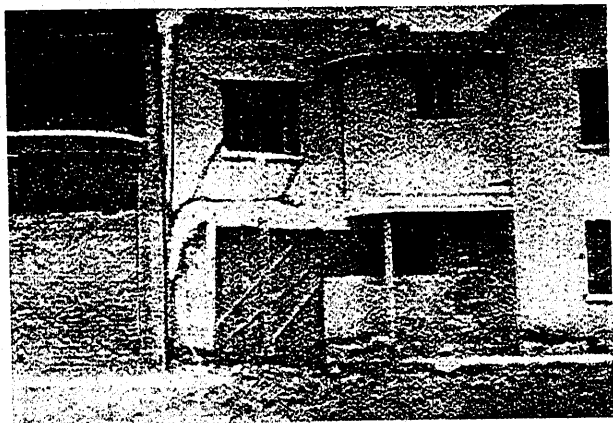


Fig. 5.ª. — Efectos de una estructura cimentada con pilotes sobre las edificaciones vecinas.

ción, en líneas generales, de la constitución geológica del mismo.

La ciudad de México está situada (fig. 7.ª) en el extremo Suroeste del gran cuenco cerrado que forma el llamado valle de México, que se ubica en la porción Sur de la parte más alta de la altiplanicie central mejicana. Los sistemas montañosos que rodean y delimitan dicho valle nacieron a finales del Mesozoico y corresponden a la fase Andina de la orogenia Alpina, consecuencia de la cual tuvo lugar a continuación un período de intensa actividad volcánica durante el Mioceno y hasta principios del Pleistoceno, que originó las altas cumbres volcánicas, algunas con nieves perpetuas, que con sus formaciones andesíticas limitan, como hemos dicho, el valle.

Durante la segunda parte del Pleistoceno y durante el Holoceno, esta actividad ha disminuído mucho, aunque no ha cesado del todo, siendo muestra de ello, por ejemplo, la moderna corriente de lava basáltica del Pedregal, cuya edad se calcula en unos dos mil años, y que ha recubierto al pie de la sierra de Ajusco restos de las civilizaciones arcaicas de los pueblos primitivos establecidos a orillas del lago Texcoco.

La actual configuración cerrada del valle data su origen a finales del Mioceno. Anteriormente, esta alta y extensa meseta estaba abierta al Norte y al Sureste, pero ambas salidas hacia las actuales vertientes de los ríos Tula y Grande, respectivamente, fueron cerradas luego con los productos piroclásticos de las erupciones de los volcanes que lo rodean.

Durante el Plioceno casi todo el actual valle estuvo ocupado por las aguas de un extenso lago cuya superficie, que se calcula alcanzaba un nivel de unos 26 m. más alto que el actual del lago Texcoco, ha ido reduciéndose muy rápidamente, en el Holoceno quedó ya dividido en una serie de lagos de menor importancia y extensión de los que hoy día sólo quedan unos pocos: de Norte a Sur, el Zumpango, Xalcotan, San Cristóbal, Texcoco, Xochimilco

(la Venecia mejicana) y Chalco, que continúan desecándose por el doble efecto de la intensa evaporación y del relleno del fondo de esta gran zona de subsidencia que forma el actual valle cerrado. En la misma figura 7.ª señalamos con distintos trazos los límites sucesivos de este gran lago.

El propio lago Texcoco, el mayor de los que quedan hoy día, y cuya visión cautivó, en 1521, a Hernán Cortés cuando contempló por primera vez desde el puerto que hoy lleva su nombre, entre los gigantescos Popocatepetl (5 452 m.) e Iztacchualt (5 286 m.), la hermosa planicie del Anahuac (entre aguas), ha reducido su extensión desde entonces acá a poco más de la tercera parte.

La sierra de Guadalupe, también de constitución andesítica, avanza hacia el centro del valle, constituyendo el abrigo natural de la ciudad de México de los vientos del Norte, sucesora de la antigua "La Trazas", edificada por los españoles en el mismo sitio donde encontró Cortés la capital azteca de Tenochtitlan, que había sido construída en el año 1325 de nuestra era dentro del lago y de cuya orilla dista hoy más de 5 kilómetros.

Más al Sur y casi paralelamente, la sierra de Ajusco o de Santa Catalina, formada por una serie de volcanes apagados pliocénicos y pleistocénicos, arranca de las estribaciones de Sierra Nevada y termina en el cerro de la Estrella.

Desde que quedó cerrado el valle, durante el Mioceno, todo el fondo del cuenco fué rellenándose por varios procedimientos que, continua unos y discontinuamente otros, han ido aportando grandes cantidades de materiales; por un lado la erosión, principalmente durante los períodos húmedos, iba arrancando de las vecinas montañas circundantes la parte exterior de las formaciones andesíticas en las que los diversos agentes atmosféricos habían ya iniciado su alteración. Estos sedimentos se fueron alternando con otros formados con cenizas, vidrios volcánicos

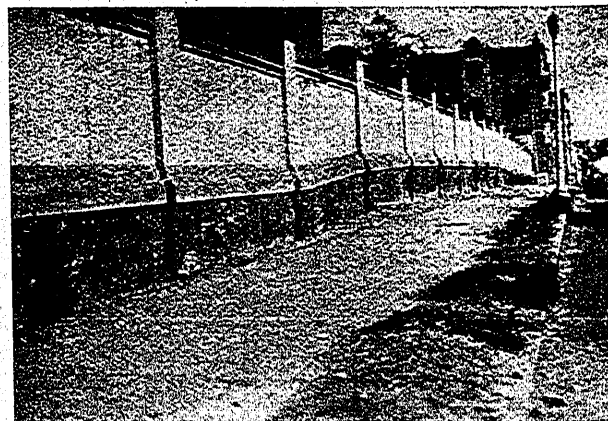


Fig. 6.ª. — Ondulaciones aparecidas en la acera y cerca de un solar.

Topografía del Valle de MEXICO.

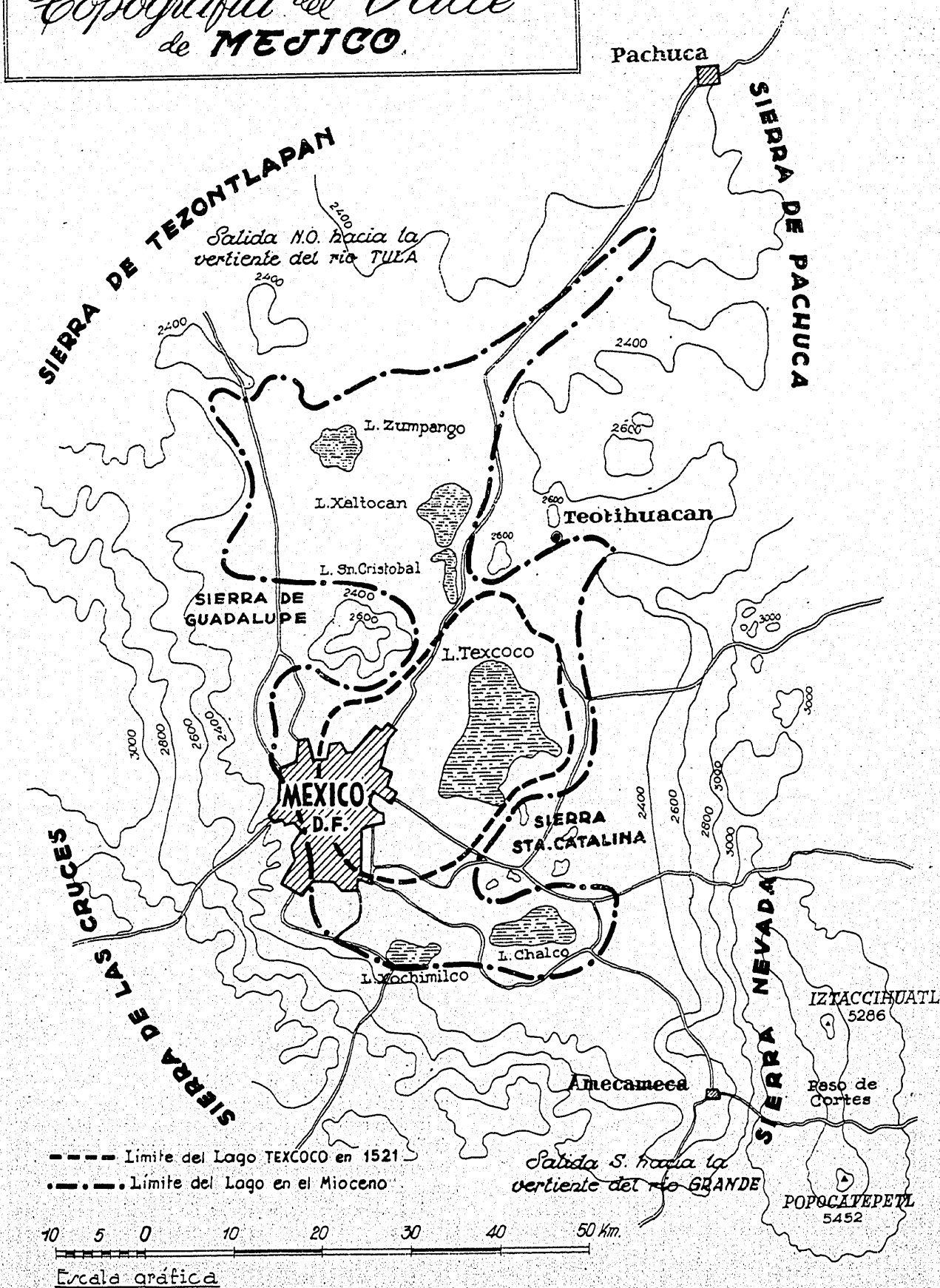


Fig. 7.^a — Esquema topográfico de la cuenca del valle de México.

y otros productos piroclásticos que, por otro lado, el viento o las propias erupciones explosivas (a veces con la formación de las nubes ardientes, típicas de este tipo de erupciones) iban acumulando y depositando sobre las aguas del lago que ocupaba entonces, como ya hemos indicado, todo el cuenco del valle, resultando un conjunto de capas o estratos sucesivos que llegan a alcanzar varios centenares de metros de espesor.

Todos estos productos volcánicos, y especialmente las cenizas, dieron lugar con su descomposición a una serie de arcillas bentónicas con contenidos del 20 al 40 por 100 de montmorillonita, principalmente sódica, y cuyas características recuerdan las de las formaciones bentónicas de las cercanías de Tlachapali, del condado de Kern, de California, procedentes asimismo de la transformación de cenizas volcánicas.

El perfil geológico del subsuelo de la capital (figura 8.^a), tomado en dirección al centro del lago Texcoco, muestra la sucesión de las capas de arcilla que lo forman con la intercalación de bancos de arena, gravas y otras formaciones calcáreas, correspondientes a las distintas características climatológicas que se dieron durante todo el tiempo que ha durado su formación.

Sucintamente, de arriba para abajo estas distintas capas son las siguientes: los primeros 6 m. están formados por sedimentos aluviales que contienen abundantes restos arqueológicos, principalmente cerámicos, y de otros utensilios fabricados con bellas obsidias. A esta primera capa sigue otra de análogas características minerales, pero sin estos restos de la industria humana; su color es más oscuro y presenta una gran abundancia de humus.

Desde los 9 a los 33 m. de profundidad se encuentran varias capas de arcilla de consistencia media y con un gran contenido de agua que varía entre el 60 y el 300 por 100. Las capas no arcillosas intercaladas entre las anteriores están principalmente constituidas por arenas volcánicas procedentes de diversos materiales piroclásticos. Este conjunto recibe localmente el nombre de formación "Tacubaya".

Aproximadamente, según los puntos, y hasta los 38 m., se encuentra una capa de arenas y gravas muy consolidada, cementada con un aglomerante calizo, y que es en la que se apoyan las cimentaciones de pilotes de la mayoría de los modernos edificios de la ciudad.

De los 38 a los 48 hay otras capas arcillosas de color más verdoso, también con un gran contenido de agua y corrientemente interceptadas por capas más finas de arena formada por vidrio volcánico de color muy claro, y a partir de los 48 hasta los 65, hay otra capa de conglomerado de gravas andesíticas y arenas cementadas también con caliza. En la parte inferior de esta capa se suele registrar la presencia de unas concreciones silíceas de gran dureza. Esta

segunda serie se la conoce con el nombre de formación "Tarango".

A mayores profundidades sigue la sucesión de estas alternancias de capas de conglomerados, cada vez más consolidados con las de arcillas, de análogas características que las de las capas superiores.

En todas las muestras estudiadas de estos sedimentos se han encontrado abundantes fósiles, principalmente de diatomeas (*Coscinodiscus*), a los que le siguen en orden a su abundancia los de las conchas de ostracodos (*Cypris*).

III. El fenómeno mecánico de los hundimientos.

El mecanismo de los hundimientos parece ser provocado por la pérdida de presión del agua contenida en las capas permeables del subsuelo.

Como acabamos de ver, este subsuelo de la ciudad de México está formado por unas capas de arcilla con gran contenido de agua, intercaladas entre un relleno de aluvión superficial y sobre un depósito permeable formado por un conglomerado de arenas y gravas. Si de alguna manera se provoca en estas últimas una pérdida de presión en el agua que contienen, la que satura las arcillas superiores, empieza a fluir hacia abajo, originándose entonces en el interior de la estructura molecular de estas arcillas una serie de fuerzas internas que, por unidad de volumen, son iguales al peso del agua, por el gradiente hidráulico en el punto que se considere y que originan sobre ellas un aumento hacia abajo de las presiones a que están sometidas, produciéndose en consecuencia en su masa una deformación en este mismo sentido.

Para comprobar estos efectos *in situ*, se han instalado más de un centenar de piezómetros en otros tantos puntos distribuidos por todo el valle; al mismo tiempo se ha medido la profundidad a que se encuentra el nivel de las aguas freáticas, que en general sigue con bastante regularidad las variaciones topográficas del suelo. En las estaciones piezométricas se han hecho mediciones a distintas profundidades y, de su comparación con la superficie del nivel de las aguas freáticas, resultaron aparentes las primeras anomalías del subsuelo.

Es evidente que, para cualquier punto concreto, la diferencia entre la altura del nivel freático y la de la elevación piezométrica, es la pérdida de presión en el mismo, expresada en toneladas por metro cuadrado.

En los estudios y mediciones realizados se han encontrado pérdidas de presión de hasta 30 toneladas-metro cuadrado; en otras partes, en cambio, estas pérdidas son nulas y en algunos puntos incluso son negativas, lo que concuerda con la existencia real de zonas artesianas.

Actualmente, las pérdidas de presión controladas aumentan a razón de una tonelada-metro cuadrado por año.

Perfil geológico de la ciudad de México.

• Según los datos del Ing. Leonardo Trevaert

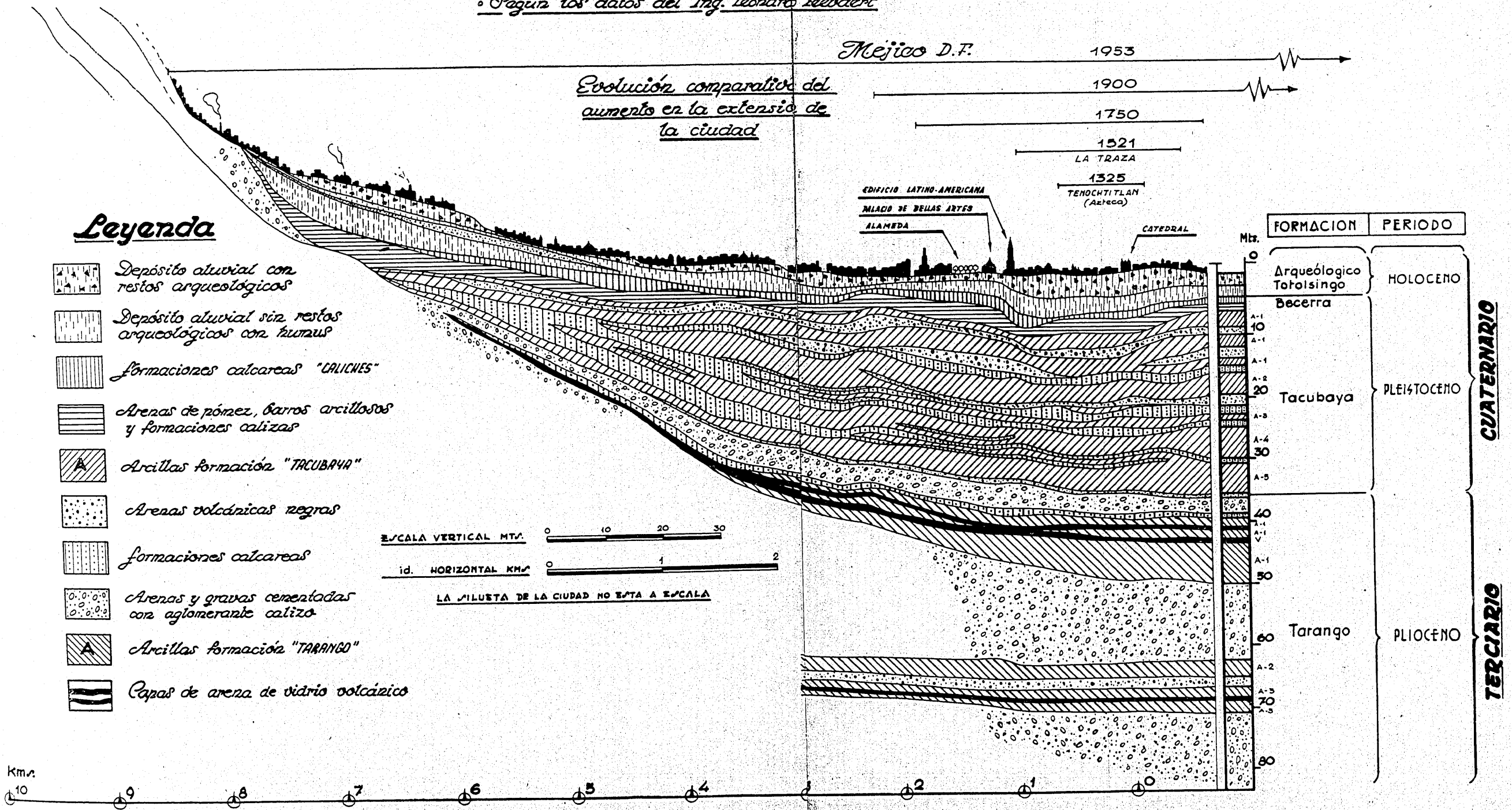


Fig. 8.^a — Perfil geológico del subsuelo de la Ciudad de México.

Como hemos dicho al principio, el caudal que actualmente se extrae del subsuelo es de 9,4 metros cúbicos por segundo, y admitiendo que los niveles piezométricos puedan aún bajar unos 20 metros con relación a su cota actual y que la pérdida de presión se mantenga asimismo constante de aquí en adelante, aplicando la teoría de Therzaghi, el Profesor Raúl Marsal, del Instituto de Ingeniería de la Universidad de México, calcula que el hundimiento probable en el año 1980 puede llegar a ser de 9,00 metros y sobrepasar los 11,00 en el año 2000.

En 1953 se realizó *in situ*, en la zona de Xotepingo, una comprobación práctica del fenómeno. Se nivelaron escrupulosamente una serie de puntos de la superficie del terreno en esta zona, referidos a un punto fijo que se situó a 200 m. de profundidad. Durante un período de cuatro meses se suspendió totalmente la extracción de agua en esta zona y se comprobó que, durante este tiempo, los movimientos de aquellos puntos fueron prácticamente nulos; se observó luego que, al poco de poner en marcha la mitad de las 31 bombas instaladas en Xotepingo, bajó rápidamente el valor piezométrico, al mismo tiempo que los puntos nivelados acusaban un descenso progresivo, hasta seguir luego una ley lineal a partir de enero de 1954.

Para evitar estas pérdidas de presión en la base de las arcillas, debida a la intensa explotación de que es objeto el agua contenida en las capas permeables inferiores, se piensa, por un lado, en el abandono gradual de todos los pozos en servicio, y por otro, además, en restituir al subsuelo el agua extraída.

La Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, está construyendo pozos de absorción en varios puntos de la ciudad, capaces de reponer al terreno el agua extraída, con la procedente de las lluvias, y con las que, previamente tratadas, se recuperen en los diversos procesos industriales que se desarrollan en la localidad y sus alrededores, en un amplio radio de influencia. De los primeros ya hay tres construidos, con una capacidad de devolver al terreno caudales del orden de 1 metro cúbico por segundo cada uno de ellos.

Este procedimiento, sin embargo, presenta serios peligros, ya que, al restablecerse las condiciones de equilibrio hidrostático del subsuelo y desaparecer el régimen de depresión que actúa sobre la plasticidad de las arcillas, el efecto resultante equivale a una descarga de las mismas, produciéndose por tanto, en consecuencia, una expansión hacia arriba del terreno.

Según las mediciones hechas con muestras de arcillas extraídas del subsuelo de la ciudad, se valora esta posible expansión en un 10 por 100 del valor del hundimiento producido. En el caso, pues, de reintegrarse las condiciones primitivas del subsuelo, la superficie del mismo en la capital se elevaría unos 60 cm., lo que hay, por tanto, que tener muy en

cuenta al estudiar y planear la forma definitiva de realizar esta operación para que la expansión del terreno no ocasione a la ciudad perjuicios mayores que los actuales.

IV. Cimentaciones.

Debido a todas estas circunstancias que acabamos de describir, se comprende fácilmente que el problema de las cimentaciones de los edificios modernos de varios pisos sea uno de los temas primordiales de la ingeniería mejicana de la capital, pues ya se han dado varios casos de tener que abandonar importantes obras sin ni siquiera terminarlas, por haber sufrido irreparablemente los efectos de estos hundimientos. Tal ha sido el caso, para no citar nada más que uno, del edificio de la esquina del Paseo de la Reforma y la calle Nilo, cuya estructura de hormigón armado, de 10 pisos, sobre una cimentación de tipo corriente, se empezó hace unos doce años. Antes de terminarse la totalidad del edificio, se ladeó éste en proporciones alarmantes; se intentó entonces corregir tal defecto, provocando la inclinación del conjunto en sentido contrario para recuperar la verticalidad, aumentando el peso muerto de la estructura en la parte menos afondada, recreciendo abundantemente la sección de los pilares sin lograr el efecto deseado, por lo que al final se decidió el abandono de las obras, que llevan ya más de diez años paradas, en espera de encontrar alguna solución para su caso o proceder a la destrucción definitiva de la misma.

En otros casos se han podido remediar a tiempo los efectos de estos fenómenos, como ha ocurrido con el edificio de "Balsas y Tigris", también de 10 pisos, en el cual, durante su construcción, y ya en la etapa final, se desniveló también la placa rígida de hormigón armado sobre la que se había cimentado, debido a que el terreno en uno de sus bordes se había hundido, del orden de los 80 cm. En este caso, se procedió a la ejecución de una nueva cimentación a base de una serie de pilares huecos, contruidos por el sistema de los cajones indios, debajo de la placa. Estos pilares troncocónicos, de 2 m. de diámetro en su base inferior y de 1 en su cabeza, se macizaron luego con hormigón en masa, y mediante el empleo de unos gatos muy potentes apoyándose en ellos se niveló nuevamente la placa rígida, enderezándose con ello el edificio en construcción, que pudo así terminarse normalmente, estando desde entonces en servicio, sin que se haya presentado ninguna nueva particularidad.

Desde entonces han sido varios los sistemas de cimentación estudiados y proyectados para prevenirse contra los efectos de los hundimientos del suelo, cuyos procesos, por otra parte, son cada día más estudiados y conocidos.

Vamos a continuación a exponer someramente algunas de las soluciones aplicadas.

Cuando se proyectó, en 1951, el "Edificio Parque Vía", de 12 pisos, se calculó una placa rígida capaz para resistir cargas concentradas y a la cota correspondiente, teniendo en cuenta los movimientos que debía experimentar el terreno durante y después de su construcción. El fondo de la excavación se elevó 20 cm. al quedar descargado por la evacuación de las tierras del vaciado: al construirse el edificio volvió a descender estos 20 cm., continuando el hundimiento hasta 15 cm. más, al terminarse las obras, como ya se había previsto en el proyecto.

Para el edificio de la "Lotería Nacional", el Ingeniero Cuevas proyectó una cimentación rígida, dividida en compartimientos estancos que se vacían o llenan a voluntad, para conseguir, por diferencias en el reparto de cargas, compensar los efectos de los distintos asientos que pueda ir sufriendo el terreno. Hasta el presente este sistema ha funcionado bien, pero tiene el inconveniente de no ser una solución definitiva.

La cimentación del edificio de la Compañía de Seguros Aztecas, cuya supraestructura consta de 14 pisos, se ha realizado a base de pilotes de fricción (en número de 81 y de 24 m. de altura con 40 cm. de diámetro), hincados en las arcillas del subsuelo y que soportan una placa rígida; en el proyecto se tuvo también en cuenta, para fijar la cota de la planta baja con relación al nivel de la calle, un posible hundimiento teórico de 25 cm. Al terminarse el edificio y entrar en servicio, este asiento previsto había ya alcanzado 22 cm.

El mayor problema de cimentación que se ha presentado, y resuelto además con una solución original muy interesante, ha sido el de la del edificio de "La Latino-Americana", destinado a oficinas, y que se halla en uno de los puntos más céntricos de la capital, en la esquina de la Avenida de San Juan de Letrán y la calle de Francisco I.

Por creerlo de interés para los lectores de la REVISTA y para hacer resaltar la importancia y envergadura del edificio y su cimentación, vamos a hacer previamente una sucinta descripción de sus características más sobresalientes, detallando finalmente la cimentación proyectada, así como el proceso y detalles de su construcción.

El edificio está prácticamente terminado y es el más alto de Hispano-América, con una altura total de edificación de unos 200 m. y 184 sobre el nivel de la calle, incluida la torre final de la Televisión.

Consta de tres pisos de sótanos, proyectados para conseguir un mejor empotramiento en el suelo, a los efectos de previsión contra los terremotos relativamente frecuentes en aquel país. El esquema en alzado del mismo, es el representado en el croquis de la figura 9.^a

En los dos sótanos inferiores se ha previsto la instalación de toda la maquinaria necesaria para el funcionamiento de los distintos servicios del edificio.

El primero se destina a usos comerciales, así como toda la planta baja. Los pisos primero y segundo están reservados a las instalaciones de una entidad bancaria, y el resto, hasta la planta 40, a apartamentos de alquiler para oficinas. Los pisos 41 y 42 están destinados a una torre de observación, y en el 43 serán instalados todos los diversos aparatos de control y medida del comportamiento del edificio.

Encima de este piso se ha montado la torre de la Televisión, de 60 m. de altura, y cuya antena se ha construido para dar cabida a tres estaciones emisoras distintas.

Además de los aparatos del piso 43, se han instalado sismógrafos secundarios en los pisos 1, 4, 23 y 37.

La estructura es de acero y los forjados de los pisos, de hormigón armado, constituyen además los elementos de arriostramiento transversal de la misma. Las cuatro fachadas del edificio son de cristal y aluminio. La distribución interior se hace a base de tabiques móviles, y todas las juntas, incluso los cercos de las puertas, son elásticas. Los cielo-rasos de placas de yeso aligerado prefabricadas, suspendidas de un armazón todo él también de aluminio. Los solados, de plástico especial super-resistente, sólo tienen 3 mm. de espesor.

Antes de abordar el proyecto de la cimentación, se efectuaron varios sondeos a profundidades de hasta 70 m., estudiándose con gran cuidado y detención tanto la compresibilidad del terreno como la capacidad de carga de los distintos materiales a emplear; como consecuencia de ello, se determinó la altura aproximada que podría tener el edificio, teniendo en cuenta, además, los efectos de los terremotos de hasta 8° de la escala de Mercalli.

Con estos datos a la vista, el Dr. Leonardo Zeevaert, Profesor de Mecánica de Suelos de la Universidad Autónoma de México, proyectó la cimentación a base de un sistema mixto de pilotes y por flotación en agua, sistema usado por primera vez en México, y, según nuestras noticias, también en el mundo.

Este tipo de cimentación consiste, en líneas generales, en lo siguiente:

Se hizo en el terreno el vaciado para los sótanos hasta 14 m. de profundidad desde el nivel de la planta baja, para obtener un valor suficiente de la subpresión que compensara, en parte, el peso de la edificación. A esta profundidad, la subpresión alcanza un valor total de unas 11 800 toneladas, que equivale, aproximadamente, a un 40 por 100 del peso muerto del edificio.

La excavación se realizó toda en arcilla de origen volcánico, de que ya hemos hablado anteriormente, que resultó con un contenido de agua de 300 por 100 en peso, o sea, de 7,5 partes de agua por 1 de sólidos de arcilla. Hubo necesidad de proteger los edificios colindantes, especialmente los de la parte Este y Sur, de 4 y 5 pisos, y construcción relativamente antigua.

Para controlar, tanto el asiento como la elevación del fondo de la excavación, durante las obras, tuvo que mantenerse constante la presión del agua existente en las distintas capas del terreno que se iban

cortando; para ello, el Profesor Zeevaert proyectó un sistema hidráulico original para inyectar exteriormente agua alrededor del perímetro excavado, el cual tuvo que protegerse por medio de una ataguía de

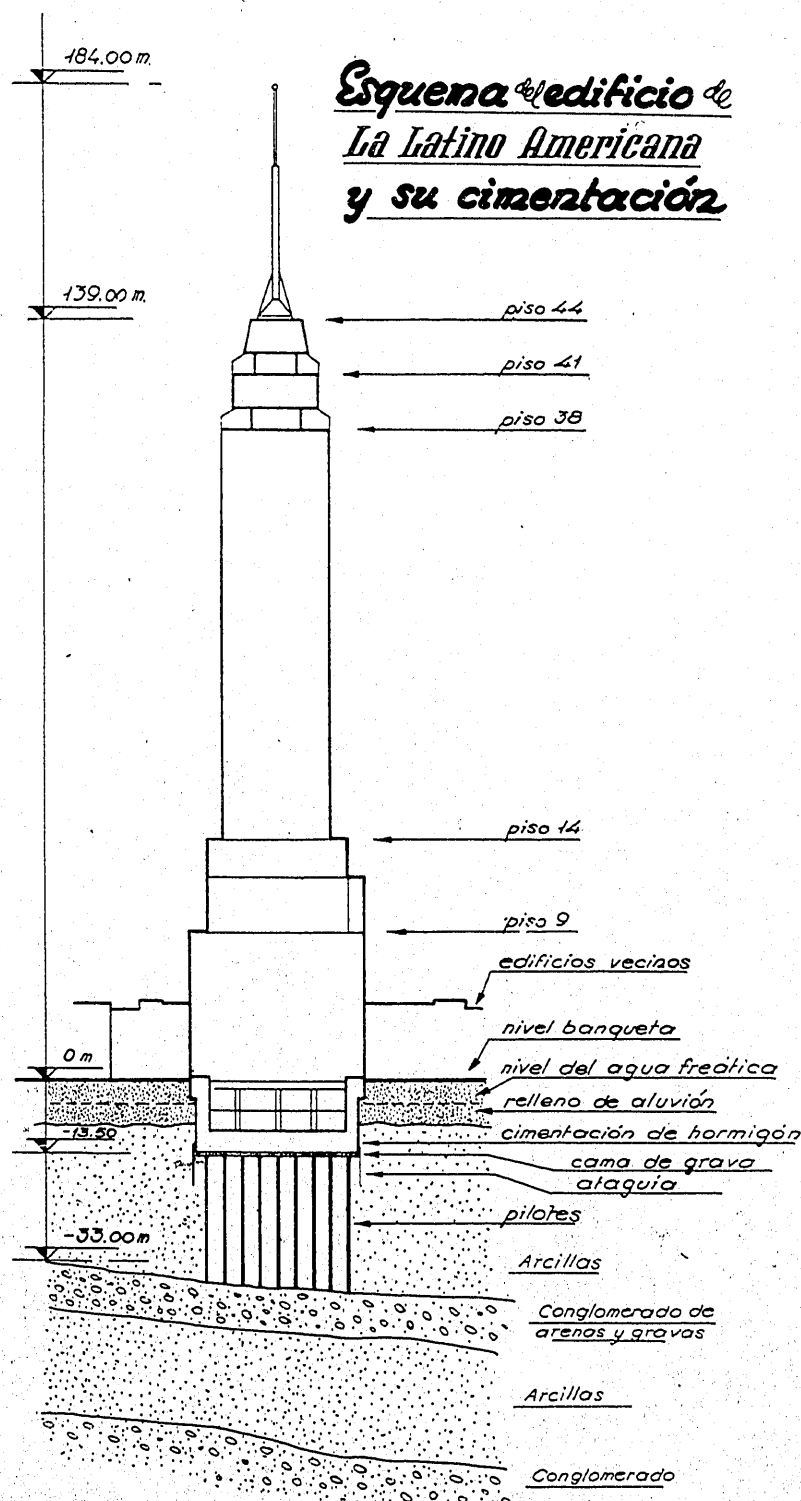


Fig. 9.^a. — Esquema del alzado y cimentación del edificio de la "Latino-Americana".

madera machihembrada de 16 m. de profundidad, del tipo "Wakefield", que fué hincada en una sola operación.

Se instalaron 4 bombas de pozo profundo, de 20 CV., para asegurar el agotamiento de la excavación y la inyección de parte de esta misma agua al

subsuelo exterior, por inyección directa mediante pozos preparados para ello.

En el fondo de la excavación, de 1-170 metros cuadrados, se hincaron 361 pilotes del tipo Botton-Buttom, hasta una profundidad de 33 m., calculados para una carga máxima de 60 toneladas cada uno,

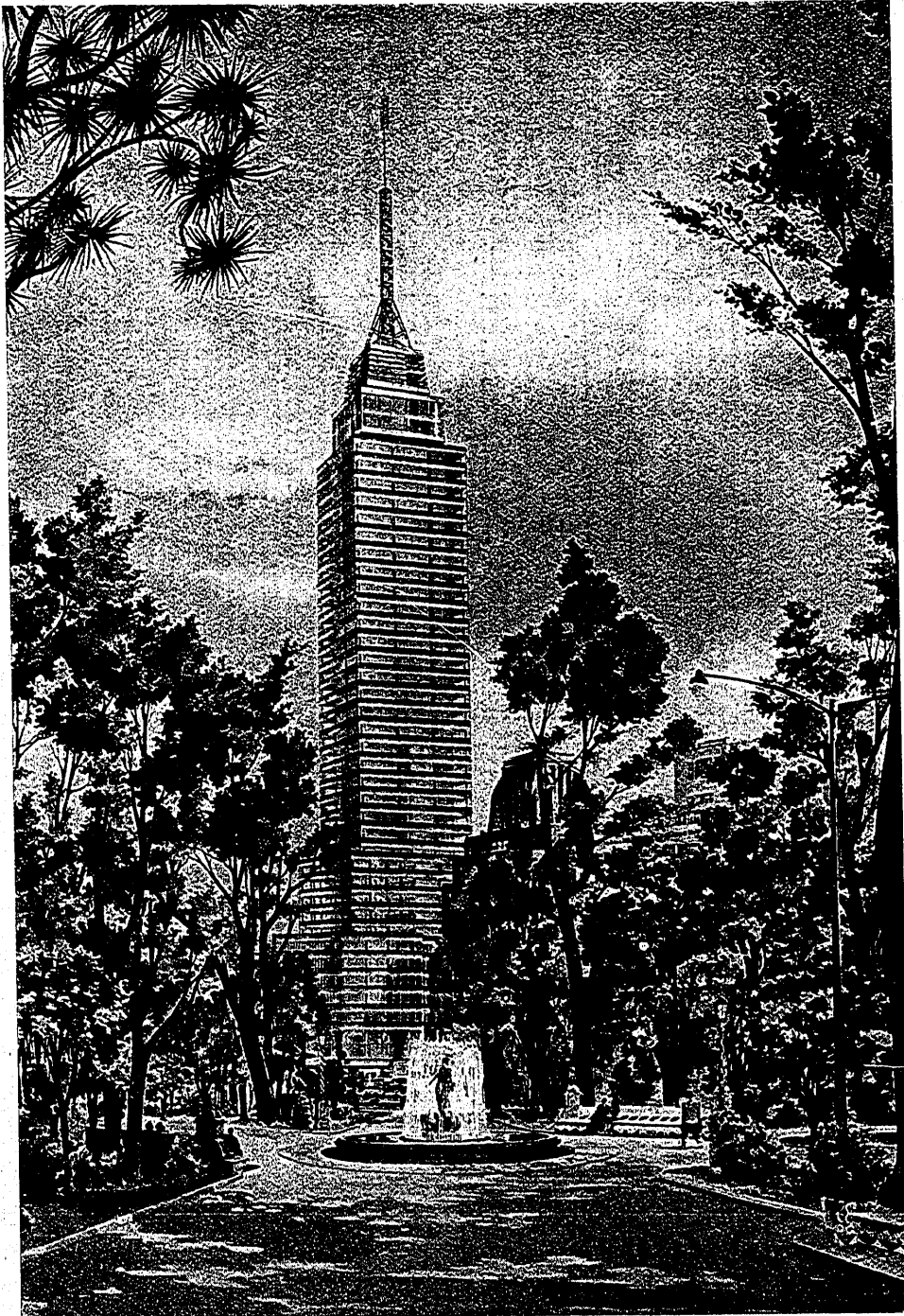


Fig. 10.—El edificio de la "Latino-Americana"; aspecto exterior que presentará una vez terminado.

durante un sismo, siendo la normal de trabajo de 35 toneladas y contando con una subpresión de 1,18 kilogramos por centímetro cuadrado. Las pruebas de carga, realizadas después del hincado, dieron buenos resultados de rendimiento elástico, hasta con 90 toneladas por pilote.

La estructura de la cimentación se calculó como rígida y monolítica, capaz de resistir las cargas concentradas de los pilotes y el empuje de la presión del agua, construyéndose totalmente impermeable.

Desde el principio de las obras se efectuaron constantemente observaciones periódicas de varios puntos nivelados con relación a otros tres fijos, que se tomaron como de referencia, situados: uno, al nivel del suelo; otro, a los 33 m. de profundidad, y un tercero, a 50 m.; estos dos últimos, sobre las capas de conglomerado resistentes del subsuelo. Asimismo, por medio de piezómetros colocados en bancos de arena a distintas profundidades, desde los 50 metros hasta el nivel del suelo, se comprobó continuamente el nivel del agua freática y la presión hidrostática prevista, mientras durara la construcción del edificio.

Bajo la placa del suelo del último sótano se intercaló una capa de algo más de un metro de espesor de grava gruesa, al objeto de asegurar el reparto uniforme de la subpresión, y en las cuatro

esquinas y en el centro de la misma se han dejado instaladas una válvulas que permiten medir y regular ésta, sacando o inyectando agua a voluntad, para mantener el valor de la misma dentro de los límites previstos en las bases del cálculo realizado en el proyecto.

Además de todas estas precauciones, la planta baja se ha dividido en varias secciones, soportadas por gatos de tornillo, que permiten al conjunto de la misma mantener el nivel requerido, para evitar la adición de escalones en los accesos, en el caso de que los hundimientos de la ciudad persistan.

La cimentación se construyó en un año, y durante ocho meses fué sometida a la acción de un peso equivalente al 80 por 100 del total del edificio una vez terminado, habiendo sido su comportamiento del todo satisfactorio y de completo acuerdo con lo previsto en el proyecto.

El aspecto del edificio, una vez terminado, será el que presenta la figura 10, fotografía de una acuarela amablemente cedida por el Ingeniero Director de las obras, D. Adolfo Zeevaert, a quien desde aquí agradecemos además todas las amabilidades con que nos distinguió durante la visita que tuvimos ocasión de hacer a dicho edificio, que, aunque no del todo terminado, tiene ya en servicio los 20 primeros pisos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. G., y Ordóñez, E. (1895): *Expedición Científica al Popocatepetl*. Comisión Geológica Mexicana de la Secretaría de Fomento.
- Bryan, K. (1948): "Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de Méjico con relación a los cambios climáticos". *Bol. de la Sociedad Geológica Mexicana*, tomo XIII.
- De Terra, H. (1948): "Historia del Valle de Méjico en las postrimetrías del Cuaternario en relación con el hombre prehistórico". *Bol. de la Sociedad Geológica Mexicana*, tomo XIII.
- De Terra, H.; Romero, J., y Stewart, T. D. (1949): "Tepexpan Man. Viking Fund". *Publications in Anthropology*, núm. 11.
- Grim, R. (1949): *An Investigation of the Engineering Characteristics of the Volcanic Lacustrine Clay Deposit Beneath Mexico City*. Ph. D. Thesis by L. Zeevaert. University of Illinois.
- Zeevaert, L. (1951): "Estratigrafía y problemas de la Ingeniería de los depósitos de arcilla lacustre de la ciudad de Méjico". Cong. Científico del IV Centenario de la Universidad de Méjico. *Ing. y Arq.*, número 9, vol. XXX.
- Arellano, A. R. V. (1951): *Estratigrafía de la cuenca de Méjico*. Cong. Científico del IV Centenario de la Universidad de Méjico.
- Bristain, P. (1950): "Deseccación y drenaje de terrenos". *Ingeniería Hidráulica de Méjico de la S. R. H.*
- Marsal, R. J.; Hiriarte, F., y Sandoval, L. (1952): "Hundimiento de la ciudad de Méjico. Observaciones y estudios analíticos". *Ing. Experimental*, serie B, núm. 3.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos de Ings. C. Asociados de C. V. (1952): "Arcillas del Valle de Méjico. Variación de propiedades con la profundidad". *Ing. Experimental*, serie B, núm. 9.
- Bristain, P. (1952): "Problemas generales del Valle y la Ciudad de Méjico". *Ing. Hidráulica en Méjico*, volumen VI, núm. 1.
- Deribéré, M., y Esme, A. (1952): *La Bentonite. Les argiles colloïdales et leurs applications*. Paris. Edit. Dunod.
- Zeevaert, L. (1953): "Pore pressure measurements to investigate the main source of surface subsidence in Mexico City". 3th. International Conference on

- Soil Mechanics and Foundation Engineering. *Switzerland*, vol. II.
- Marsal, R. J.; Mazari, M., y Hiriarte, G. (1953): "Comparación de propiedades mecánicas en muestras remoldeadas e inalteradas de las arcillas del Valle de Méjico". *Ing. Experimental*, serie B, núm. 15.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (1953): "Recopilación de datos del Valle de Méjico. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de Méjico". *Boletín de Mecánica de Suelos*, núm. 1.
- Gian, A. B. (1953): "Outline on the stratigraphical and mechanical characteristics of the unconsolidated sedimentary deposits in the basin of the Valley of Mexico". *Actas del IV Cong. Int. del Cuaternario*. Roma.
- Marsal, R. J., y Sainz Ortiz, J. (1956): "Breve descripción del hundimiento de la ciudad de Méjico". *Comunicación al XX Cong. Geol. Int. Méjico*.
- Bristain, P. (1956): "Proyecto para el aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos de los volcanes Izta-Popo y río Balsas, en el abastecimiento de agua potable y generación de energía hidroeléctrica para la ciudad de Méjico". *Comunicación al XX Cong. Int. Geol. Int. Méjico*.
- Carta Geológica de la República de Méjico* (1956): Presentada al XX Cong. Geol. Int. Méjico.
-