

BREVE DESCRIPCION DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO (*)

RAÚL J. MARSAL (**) e IGNACIO SÁINZ ORTIZ (***)

El hundimiento de la Ciudad de México es de trascendental importancia para su desarrollo futuro, debido a las conexiones que dicho hundimiento tiene con el abastecimiento de agua potable, con las inundaciones ocurridas en zonas urbanizadas y con el comportamiento de los edificios. En efecto, del subsuelo de la Ciudad se extrae en la actualidad un gasto de $8.0 \text{ m}^3/\text{seg}$, que se inyecta a la red de distribución; y además, se operan alrededor de 3,000 pozos para uso de particulares, con un gasto estimado de $1.5 \text{ m}^3/\text{seg}$. Es un hecho conocido, que esta extracción ocasiona hundimientos no uniformes, por lo que la red de drenaje presenta alteraciones importantes en sus pendientes respecto al proyecto original, resultando deficiente su funcionamiento hidráulico. Por otra parte, las construcciones son afectadas por asentamientos diferenciales que pueden poner en peligro su estabilidad.

En este trabajo se presentan los datos más ilustrativos del hundimiento, obtenidos por diversas instituciones oficiales, y privadas en los últimos años, y en forma breve y sencilla, se explica el complicado mecanismo que lo gobierna. Después de una predicción sobre

(*) Presentado en ocasión del XX Congreso Geológico Internacional. Original recibido en octubre de 1956.

(**) Investigador del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

(***) Jefe de la Oficina de Mecánica de Suelos de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. S.R.H.

su futura evolución, considerando que las condiciones actuales perduren por mucho tiempo, se exponen objetivamente los tipos de perturbación observados en distintas obras de la Ciudad, para llegar a la conclusión de que es indispensable suspender, en forma progresiva y a la mayor brevedad posible, el bombeo dentro de la superficie urbanizada.

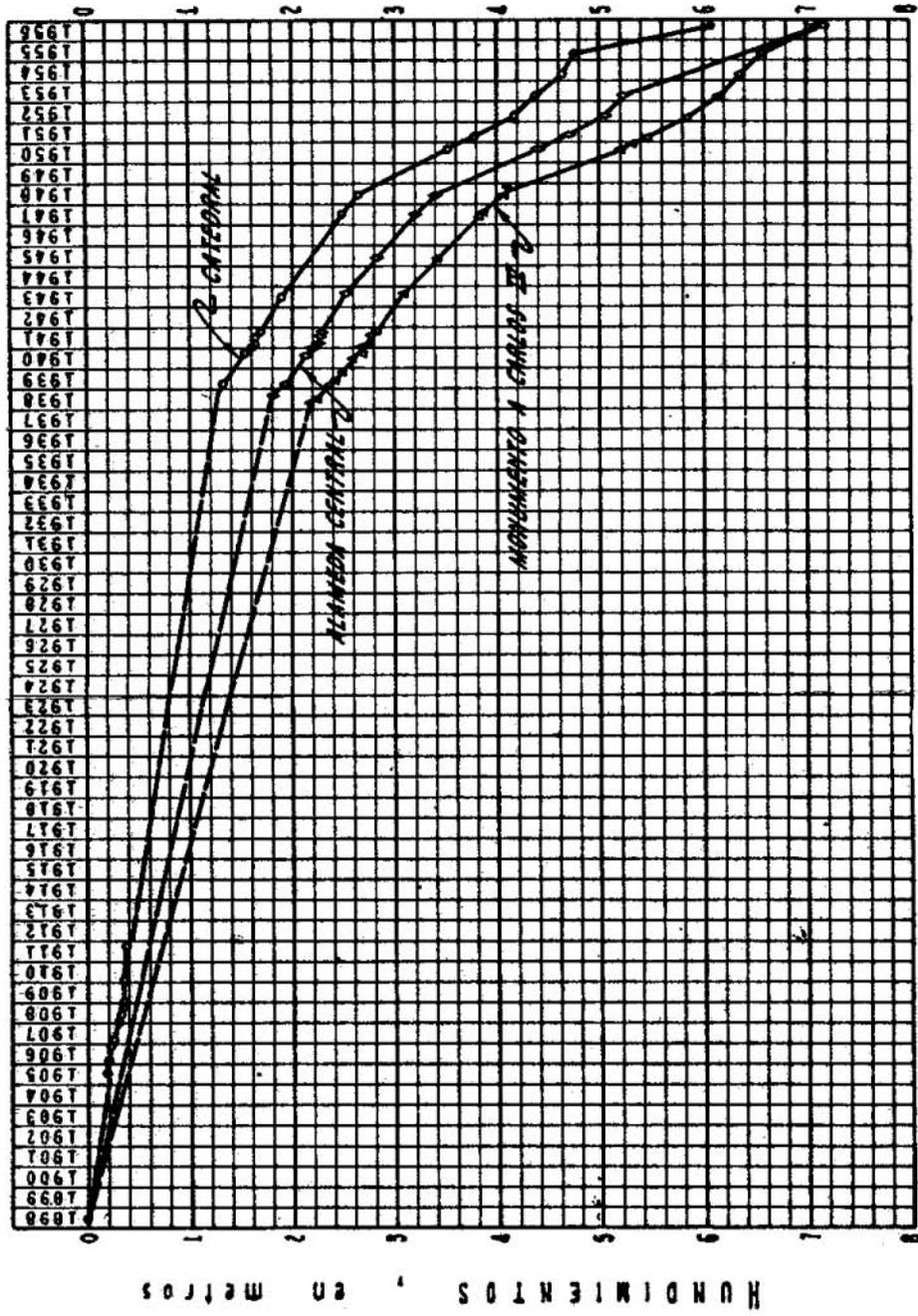
a).—HUNDIMIENTOS OBSERVADOS

La historia de los hundimientos es incompleta, porque las nivelaciones, salvo las más recientes, no se realizaron con el fin de analizar este fenómeno. En su "Proyecto de Desagüe y Saneamiento de la Ciudad de México", el Ing. Roberto Gayol presenta un levantamiento realizado en 1891 por la Comisión Hidrográfica, con curvas de nivel referidas a un plano de acotación $+ 10$ m.; posteriormente encontré información que permitió ligar dicho plano de referencia a un punto fijo en el Cerro de Atzacolco (1) y calcular las correspondientes elevaciones respecto al nivel del mar. La nivelación efectuada por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México en 1952 (2), ha hecho posible determinar los hundimientos de una amplia zona de la Ciudad, los cuales se muestran en la Fig. 1-a. Es interesante notar la irregularidad de los movimientos de la superficie; unas regiones han sido más afectadas por el fenómeno, y otras, como la Plaza de la Constitución, acusan un asentamiento notablemente menor que el conjunto mostrado en la figura citada. El valor medio del hundimiento entre 1891 y 1952 en la zona mencionada, resulta de 4.56 m. En la actualidad es de 5.20 m. en promedio.

Por las nivelaciones de la Comisión Hidrográfica a principios de siglo, las llevadas a cabo por la Dirección de Geografía periódicamente desde 1937, y las realizadas por la Comisión Hidrológica y por Ingenieros Civiles Asociados. S. A. de C. V. recientemente, se ha podido reconstruir la ley aproximada de los asentamientos con

(1) "Hundimiento de la Ciudad de México.—Observaciones y Estudios Analíticos", por los Ings. Raúl J. Marsal, Fernando Hiriart y Raúl Sandoval L., Ediciones ICA, Serie B, No. 3, 1951.

(2) "Recopilación de Datos del Valle de México", Boletín No. 1 de Mecánica de Suelos, de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, 1953.



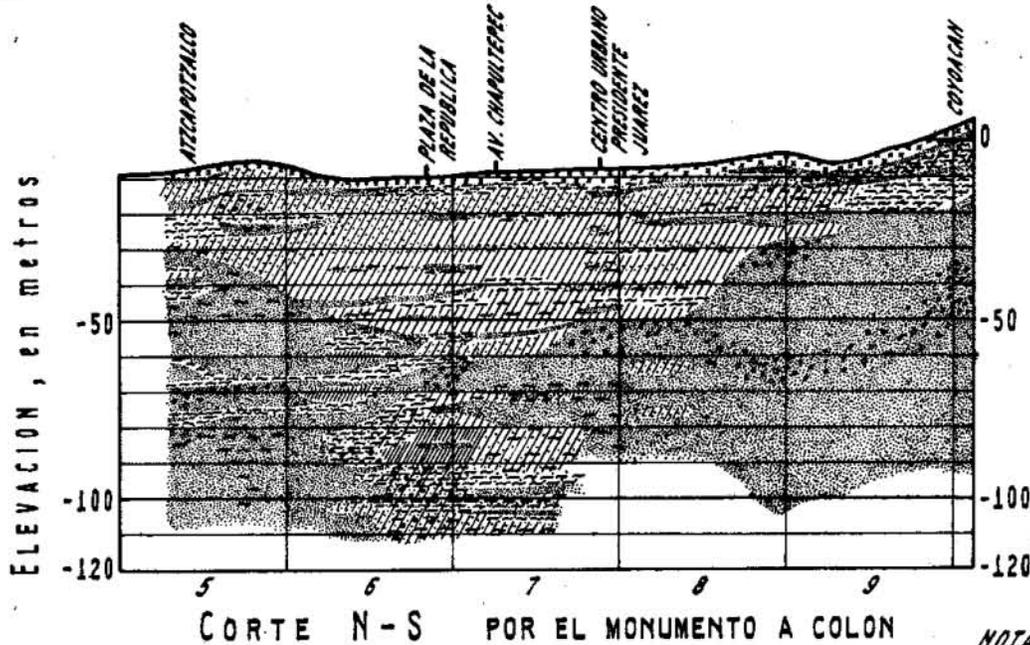
(b) HUNDIMIENTOS - TIEMPO

HUNDIMIENTOS OBSERVADOS



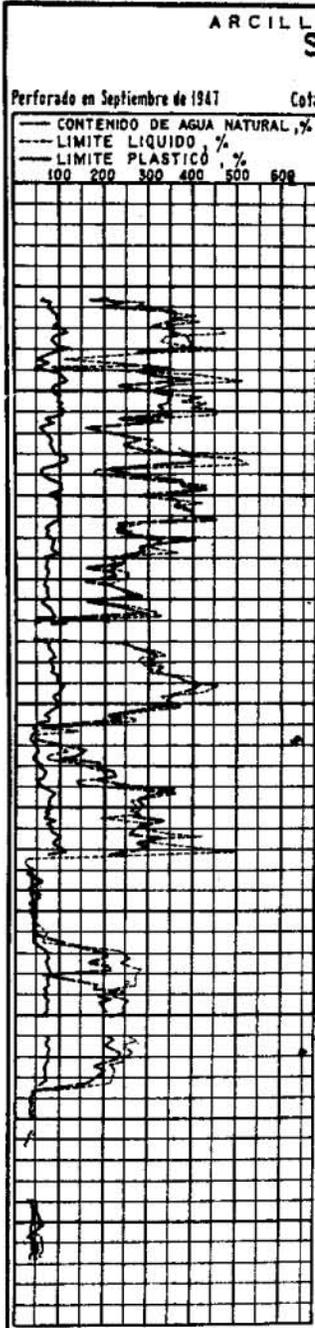
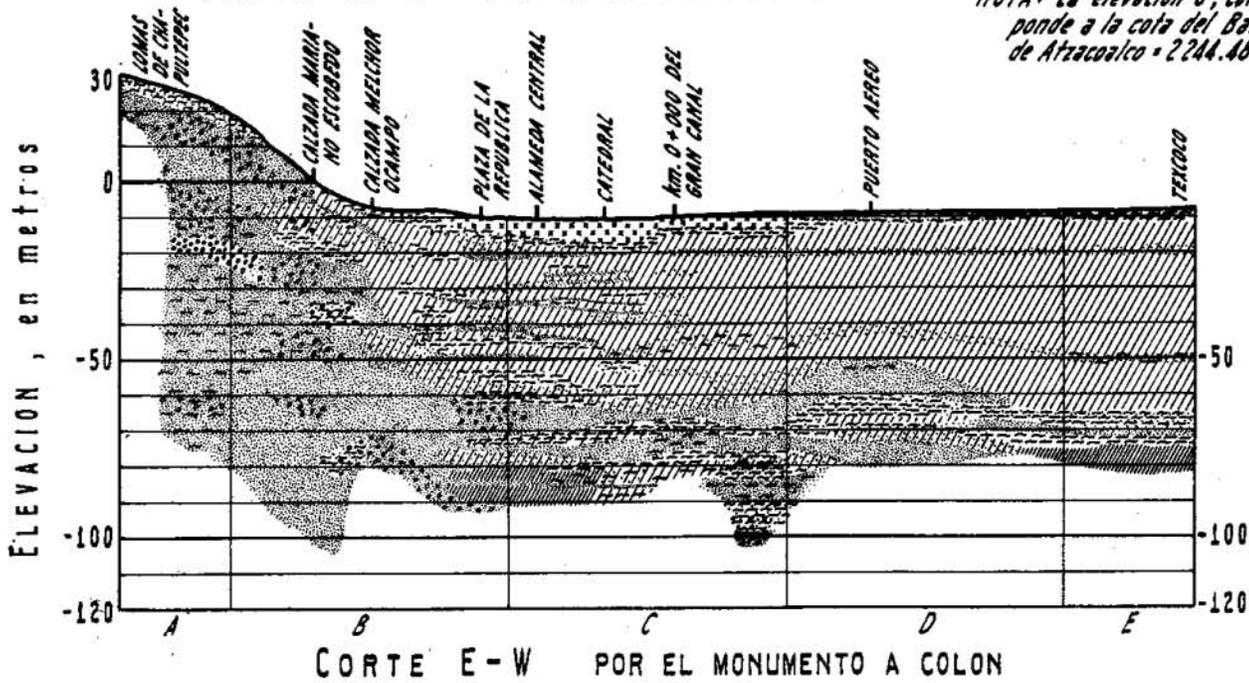
SEMA DE UNDA

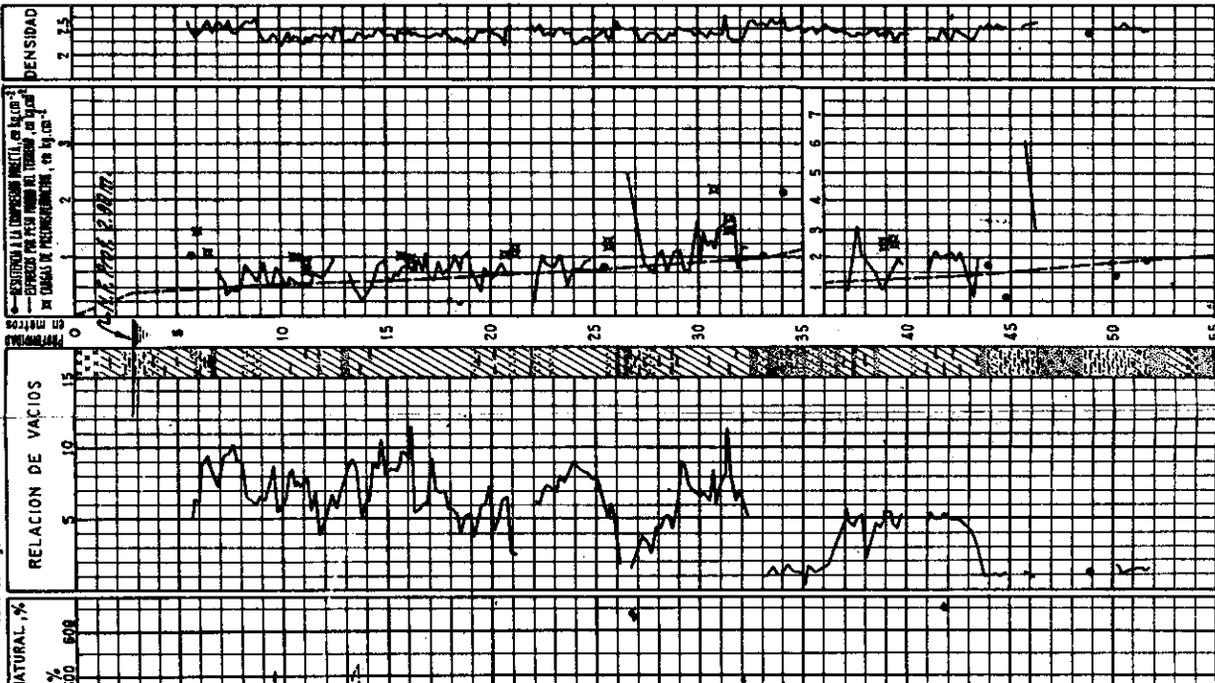
tercio de
L. de
za de la
Mexico.



CORTE N-S POR EL MONUMENTO A COLÓN

NOTA: La elevación 0, corresponde a la cota del Banco de Atzacotalco = 2244.48 m.





VALORES MEDIOS

PROPIEDAD	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR MEDIO	ERROR ESTANDAR
CONTENIDO DE AGUA NATURAL	W_i	%	241.8	1.97
DENSIDAD DE SOLIDOS	ρ_s	—	2.42	0.002
RELACION DE VACIOS INICIAL	e_i	—	6.12	0.790
LIMITE LIQUIDO	LL	%	254.6	1.57
LIMITE PLASTICO	LP	%	77.6	0.41
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	σ_r	kg cm ⁻²	0.88	0.009
MODULO DE DEFORMACION	E	kg cm ⁻²	40.6	0.66
CARGA DE PRECONSOLIDACION	P_c	kg cm ⁻²	1.48	0.024
COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD MEDIO	a_v	cm ² kg ⁻¹	0.51	0.150
COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD MAXIMO	$a_{v \text{ máx.}}$	cm ² kg ⁻¹	1.95	0.050
INDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LA CARGA	m_c	—	0.474	0.0032
INDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LA DESCARGA	m_d	—	0.053	0.0006
COEFICIENTE DE CONSOLIDACION	c_a	cm ² seg ⁻¹ x 10 ⁻³	1.049	0.0316

EL SUBSUELO DEL VALLE

relación al tiempo, en algunos puntos. Entre ellos se pueden citar la Catedral, el Monumento a Carlos IV y el banco de la Alameda (Véase Fig. 1-b) que, por lo completo de los registros, son de especial interés. Para analizar algunos aspectos salientes del fenómeno. Las nivelaciones que la Comisión Hidrográfica hizo de la Catedral entre 1905 y 1911, demuestran que los hundimientos en ese período se presentaban a razón de 3 cm/año. Durante 1938-1948 la velocidad del hundimiento es del orden de 15 cm/año, y vuelve a incrementarse apreciablemente en los últimos años, siendo en promedio de 30 cm/año para la parte céntrica de la ciudad, y de 50 cm/año para algunos puntos aislados. Llama la atención que 1937 y 1948, años que se destacan por un cambio brusco en la ley de asentamientos (véase Fig. 1-b), coinciden con una intensificación del bombeo dentro del área urbanizada, para fines de abastecimiento de agua potable. Aún cuando el hundimiento sigue leyes semejantes en los diferentes bancos nivelados, en la Fig. 1-a se nota que sus valores son muy distintos, lo cual puede explicarse por variaciones apreciables del corte geológico, de las propiedades físicas del suelo, y del mecanismo que provoca el fenómeno.

b).—EL SUBSUELO DEL VALLE

Como es sabido, la Ciudad de México está asentada en su mayor parte, sobre el fondo del antiguo Lago de Texcoco. Las exploraciones realizadas por diferentes instituciones (2) (3), revelan la existencia de una formación arcillosa extraordinariamente compresible, de origen volcánico, cuyas propiedades son muy variables de un punto a otro. Los cortes, siguiendo las direcciones N-S y E-W de la Fig. 2, dan una idea aproximada de la composición del terreno. Al Poniente se encuentran depósitos potentes de grava y arena, cubiertos por estratos limo-arenosos muy compactos (tepetates). Los terrenos que se encuentran a la Elevación 2245 o menor, aparecen invadidos por la formación arcillosa, cuyo espesor aumenta rápidamente hacia el actual Lago de Texcoco, alcanzando a ser de unos 30 m. en la parte céntrica de la Ciudad; recientes sondeos en el

(2) "Recopilación de Datos del Valle de México", Boletín No. 1 de Mecánica de Suelos, de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, 1953.

(3) "Arcillas del Valle de México.—Variación de Propiedades Mecánicas con la Profundidad", Ediciones ICA, Serie B, No. 7, 1952.

fondo del citado Lago, muestran rellenos de arcilla a profundidades mayores de 150 m. La roca basal, que se supone es andesítica, de acuerdo con el estudio geofísico del Instituto Nacional de la Investigación Científica (4), realizado por encargo de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, se ha localizado a 1,000 m. bajo la superficie, en promedio; su topografía es muy irregular, quedando la Ciudad localizada en una de las depresiones subterráneas que forma el fondo rocoso del Valle, según puede observarse en el plano de anomalías gravimétricas, Fig. 3.

Para el estudio del hundimiento es de primordial importancia el conocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales de la formación compresible. Un elevado número de pruebas realizadas por el Laboratorio de Ingenieros Civiles Asociados S. A. de C. V. (5), ha permitido determinar los valores estadísticos de dichas propiedades, tabulados en la Fig. 2.

c).—PERDIDAS DE PRESION EN LOS ACUIFEROS.

Con objeto de verificar la causa del hundimiento y contar con la información requerida para predecir su evolución, se han instalado estaciones piezométricas en más de 100 puntos del Valle (2) (6). Con las mediciones de este tipo, se han construido las gráficas de la Fig. 4-a, relativas a las curvas de igual elevación piezométrica para diferentes profundidades, la configuración del nivel freático, y la del terreno, en noviembre de 1952. La comparación de estas gráficas muestra que el nivel freático sigue aproximadamente las variaciones topográficas de la superficie, con excepción de la región Surponiente, en la transición a la sierra, donde el espejo del agua encuéntrase en unos casos a 60 m, y en otros a 3 ó 4 m bajo la superficie. Las curvas de igual elevación piezométrica a 20, 33, 50 y 95 m de profundidad, revelan una alteración notable en la dis-

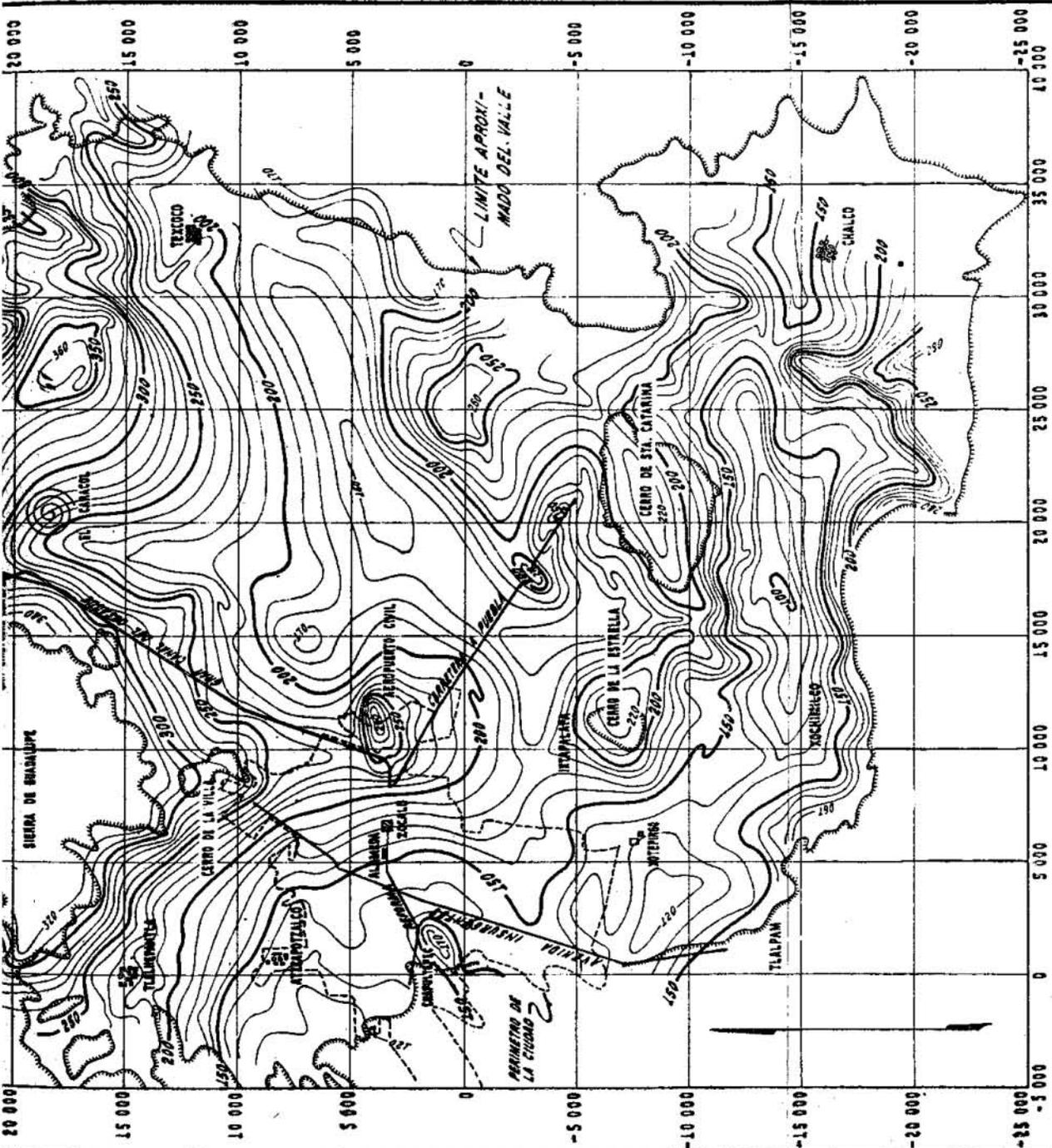
(4) "Informe sobre el Trabajo Gravimétrico Efectuado en el Valle de México", Instituto Nacional de la Investigación Científica, 1953.

(5) "Arcillas del Valle de México.—Curvas de Regresión Estadística", por los Ings. Raúl J. Marsal y Marcos Mazari Ediciones ICA, Serie B, No. 12, 1952.

(6) "Observaciones Piezométricas en el Subsuelo del Valle de México", Ediciones ICA, Serie B, No. No. 11, 1952.

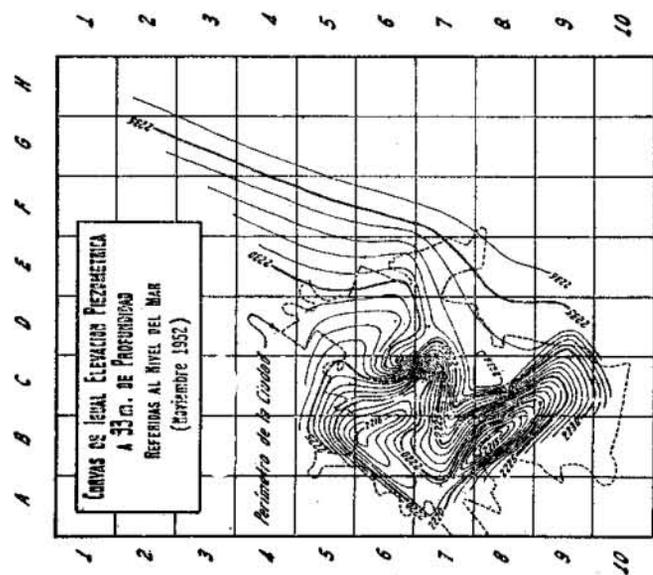
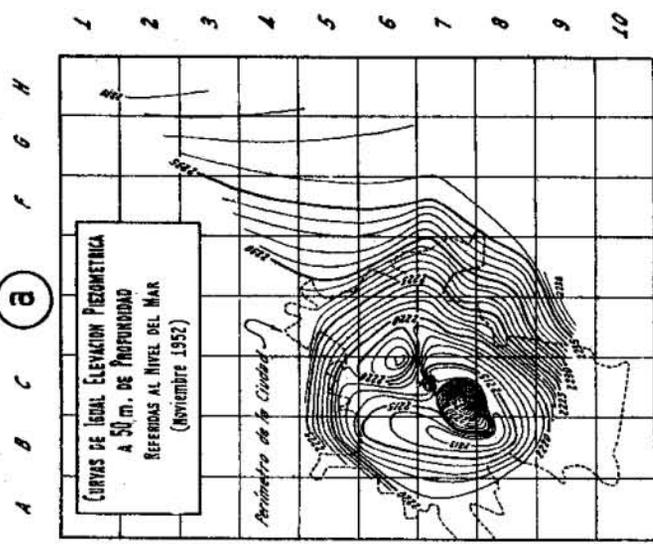
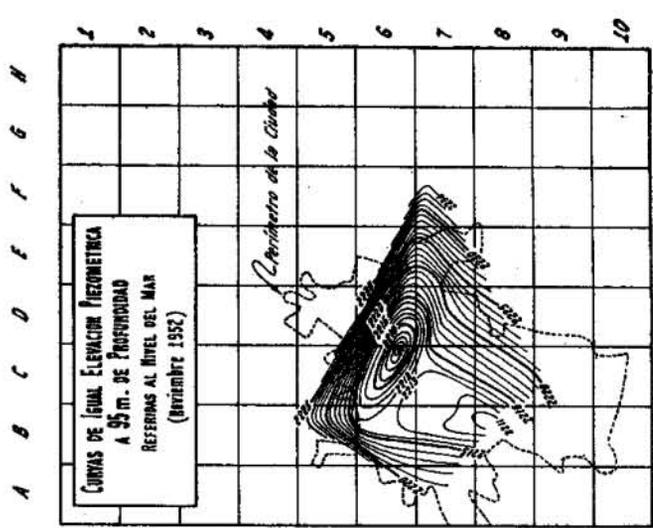
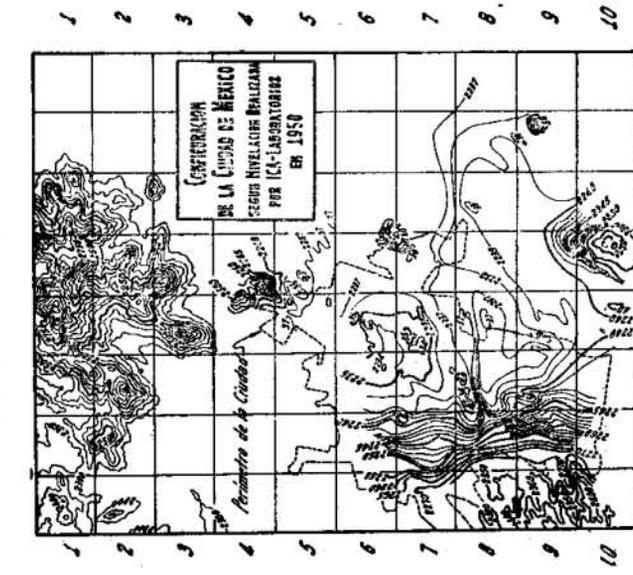
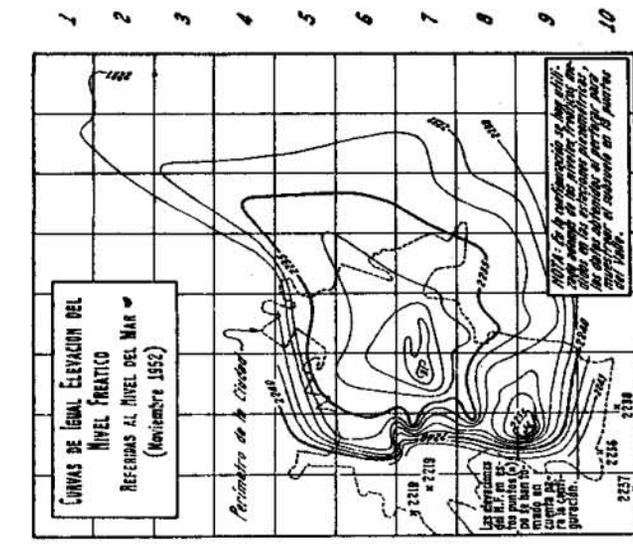
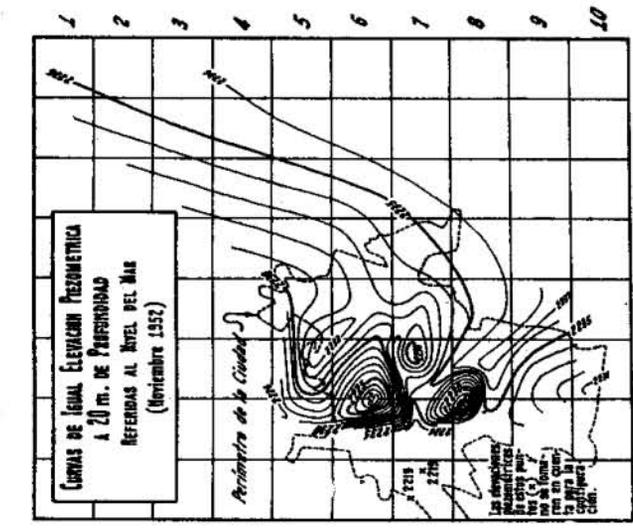
MAPA DE ANOMALIAS GRAVIMETRICAS DEL VALLE DE MEXICO

Esc. 1 : 200 000



NOTA:
Las anomalías gravimétricas
están indicadas en miligals.

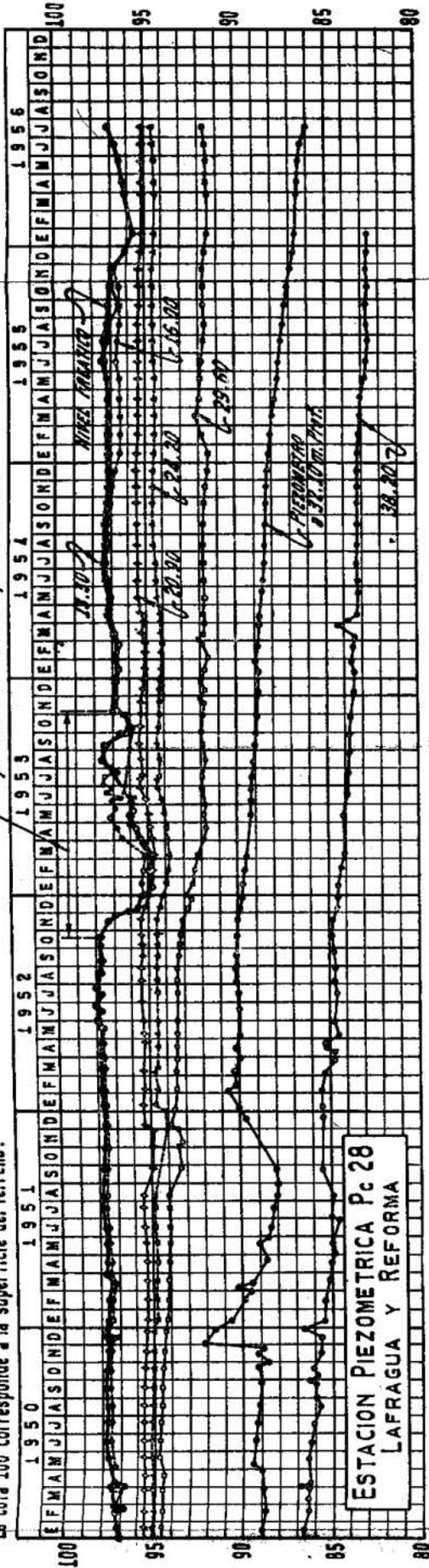
Fig. 3



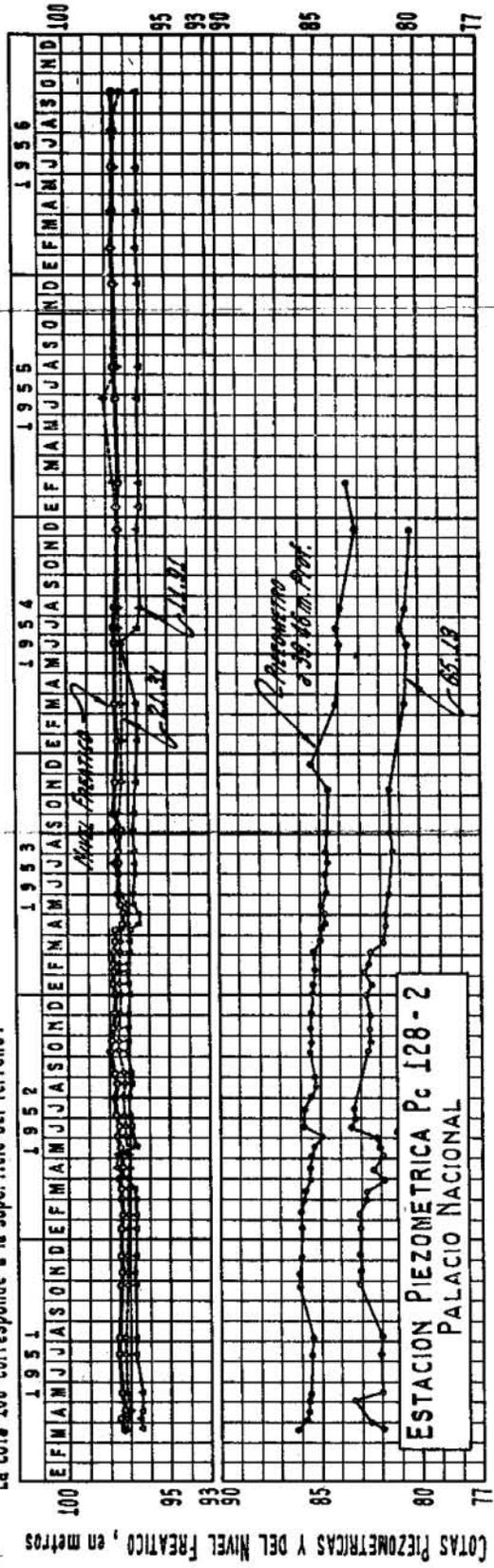
(a)

Elevación del terreno con respecto al nivel del mar: 2234.0 (Julio 1952).
La cota 100 corresponde a la superficie del terreno.

Alteraciones producidas por construcción de edificios
próximos a la estación piezométrica.



(b) Elevación del terreno con respecto al nivel del mar: 2233.9 m. (Julio 1952).
La cota 100 corresponde a la superficie del terreno.



PERDIDA DE PRESION EN LOS ACUIFEROS

FIG. 4

tribución de presiones del agua; en el caso de existir un estado de equilibrio, las citadas curvas deberían coincidir con las correspondientes al nivel freático. La diferencia entre la elevación del nivel freática y la elevación piezométrica del agua en los mantos localizados a las profundidades citadas en las gráficas, es la pérdida de presión, expresada en ton./m². Como puede notarse en la fig. 4-a, existen zonas que exhiben una pérdida de presión superior a 30 ton./m², particularmente hacia el Poniente y en los rellenos profundos; en cambio, en la parte oriental de la Ciudad, las pérdidas de presión son nulas, y existen casos en que la diferencia es negativa, o sea que en ciertas regiones del Valle, los acuíferos son artesianos. De acuerdo con las observaciones de perforistas que trabajaron en la Ciudad a principios del siglo, en algunas zonas se registraban casos de artesianismo, lo cual es congruente con la existencia de manantiales como los de Chapultepec, antes de 1930.

La causa principal de la alteración, puesta en evidencia por las mediciones piezométricas antes comentadas, es el bombeo en el área urbanizada. Puede establecerse, sin lugar a dudas, que esa explotación de los acuíferos es excesiva, pues como muestra la Fig. 4-b, las cotas piezométricas siguen bajando en forma progresiva; si no fuera excesiva, al mantenerse constante el gasto bombeado, los niveles, aunque deprimidos, deberían conservar aproximadamente su posición. Es difícil predecir los valores finales de la depresión en los acuíferos, aún suponiendo que el bombeo dentro de la Ciudad no se incrementara en el futuro, pues no se conocen las aportaciones de la subcuenca sobre la que está desplantada. Actualmente, la pérdida de presión en los depósitos permeables aumenta a razón de 1 ton./m². año aproximadamente, extrayéndose del subsuelo un caudal de 9.4 m³./seg.

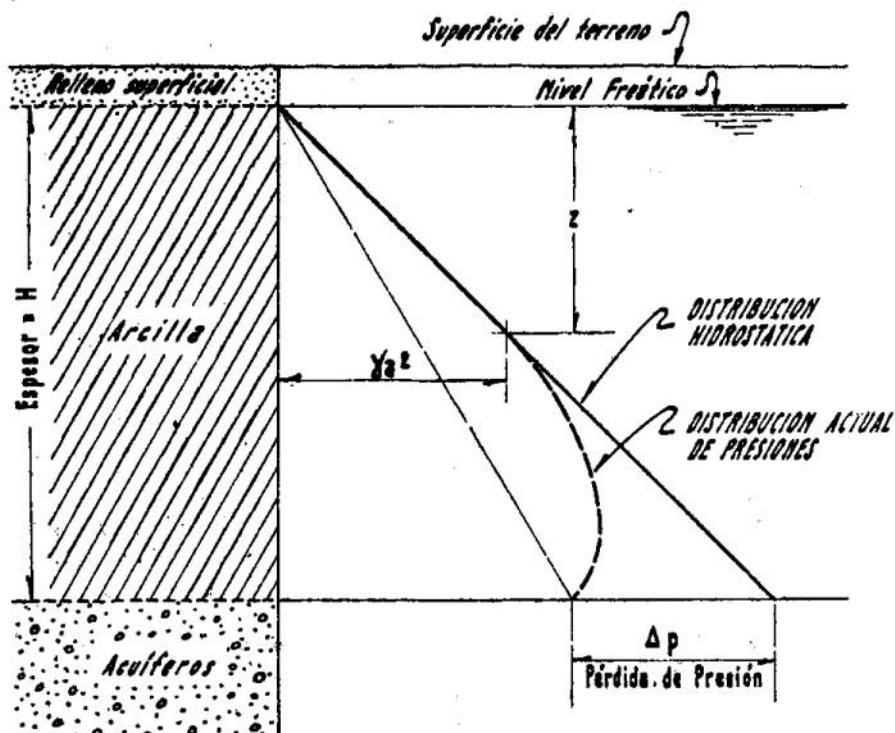
Con el fin de hacer una estimación de los hundimientos en los próximos 30 años, se supondrá que los niveles piezométricos pueden abatirse 20 m. con respecto a los actuales, lo cual es equivalente a una depresión media total de 45 ton./m². Por otra parte, debe tenerse presente que el nivel freático tenderá, con el tiempo, a descender respecto a la superficie del terreno para adoptar su posición de equilibrio que, según la hipótesis anterior, estará a 45 m. bajo su nivel actual.

d).—INTERPRETACION DEL FENOMENO.

Sea una capa de arcilla con un relleno permeable superficial, y sobrepuesta a un depósito permeable de grava y arena (véase Fig. 5), que posee las características medias de la formación compresible del Valle. El nivel freático tiene la posición indicada en la figura anterior, y se supone que, inicialmente, la distribución de presiones, u , en el agua es hidrostática, es decir, que su ley de variación con la profundidad, es lineal y de ecuación; $u = \gamma z$, en la que γ es el peso volumétrico del agua, y z es la profundidad medida a partir del nivel freático. Si por algún artificio se provoca en los mantos de arena y grava una depresión uniforme, Δu , el agua que satura la arcilla comienza a fluir hacia su frontera inferior. Este escurrimiento del agua genera en la estructura granular del suelo, un sistema de fuerzas interiores, las que, por unidad de volumen, son iguales al producto del peso volumétrico del agua por el gradiente hidráulico en el punto que se está analizando; dichas fuerzas, conocidas generalmente con el nombre de fuerzas de filtración, tienen la dirección de las líneas de corriente de flujo. La capa de arcilla, debido a la depresión uniforme, Δu , supuesta en las mantos arenosos profundos, queda sometida a un incremento de cargas dirigido hacia abajo, y en consecuencia, comienza a enjutarse; las deformaciones que sufre por ese nuevo estado de esfuerzos, no son instantáneas, sino reguladas por la ley con que pierde el agua de su estructura (consolidación). El asentamiento total de la capa de arcilla, de dimensiones y propiedades conocidas, es función del incremento de esfuerzos aplicado; pero, la forma de la curva de asentamientos-tiempo depende de la permeabilidad media del material y de las condiciones en la frontera, fundamentalmente. La interpretación de este fenómeno por medio de la teoría de la consolidación, en el caso de la Ciudad de México, se debe al Dr. Nabor Carrillo (7).

Admitiendo que la pérdida de presión en los acuíferos fuera de 45 ton./m²., y se mantuviera indefinidamente, la Ciudad sufriría hundimientos del orden que se muestra en la Fig. 6-a. Dichos enju-

(7) "Influencia de los Pozos Artesianos en el Hundimiento de la Ciudad de México", por el Dr. Nabor Carrillo Flores, Anuario de la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, 1947.

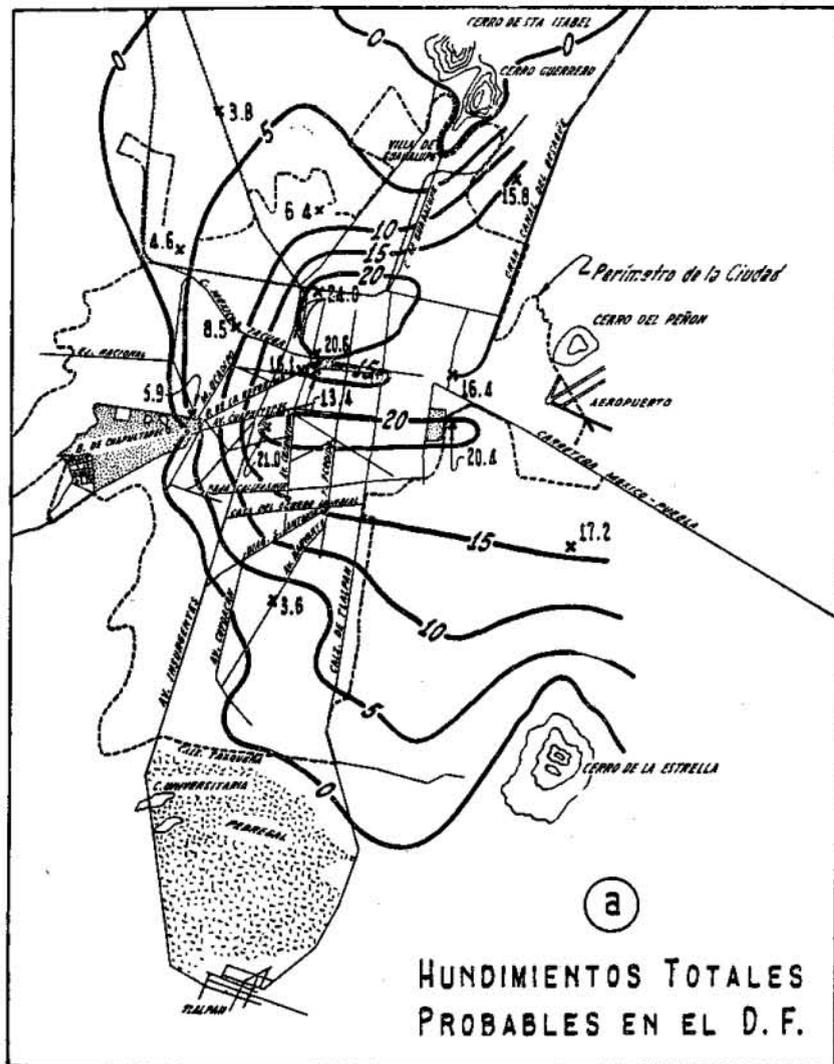


$$h(\tau) = \alpha \tau + \beta \quad u_0 = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\theta}{\pi^2 (2m+1)} e^{-\frac{\pi^2}{4} (2m+1) \tau}$$

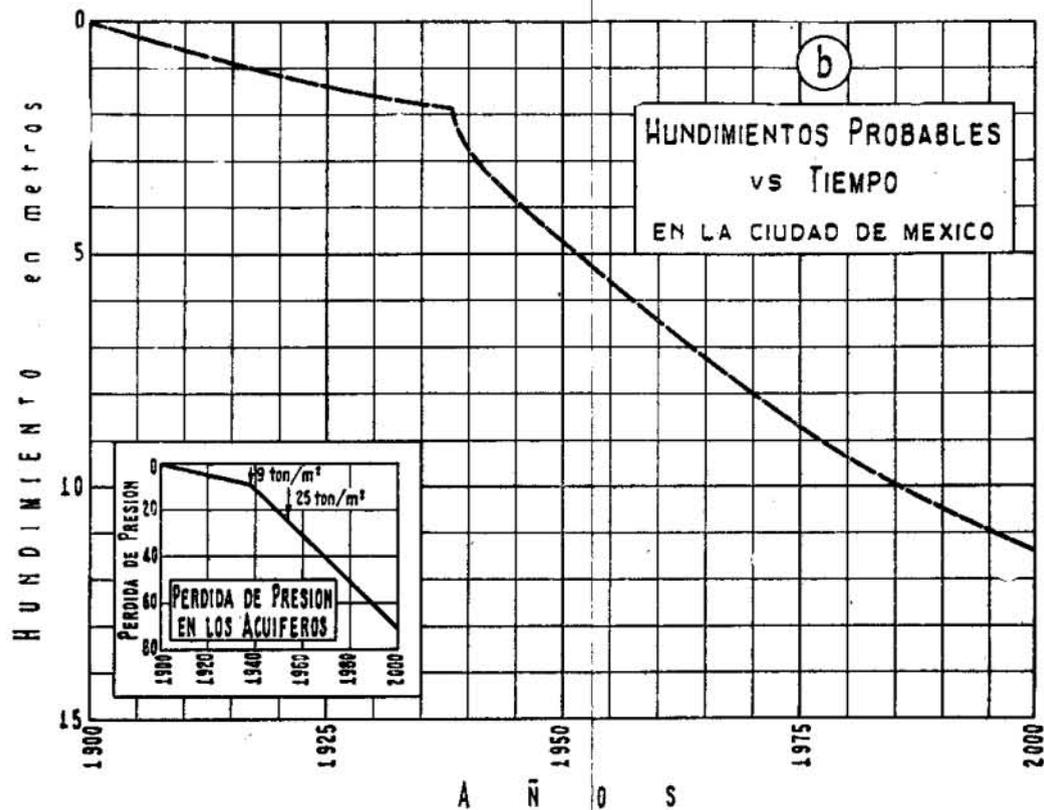
$$p(\tau) = \frac{\gamma_w H}{1+e} a_v [\alpha \tau + \beta [1 - u_0(\tau)]] \alpha \int_0^{\tau} u_0(\tau - \zeta) d\zeta \quad ; \quad \zeta \geq 0$$

INTERPRETACION TEORICA DEL HUNDIMIENTO

FIG. 5

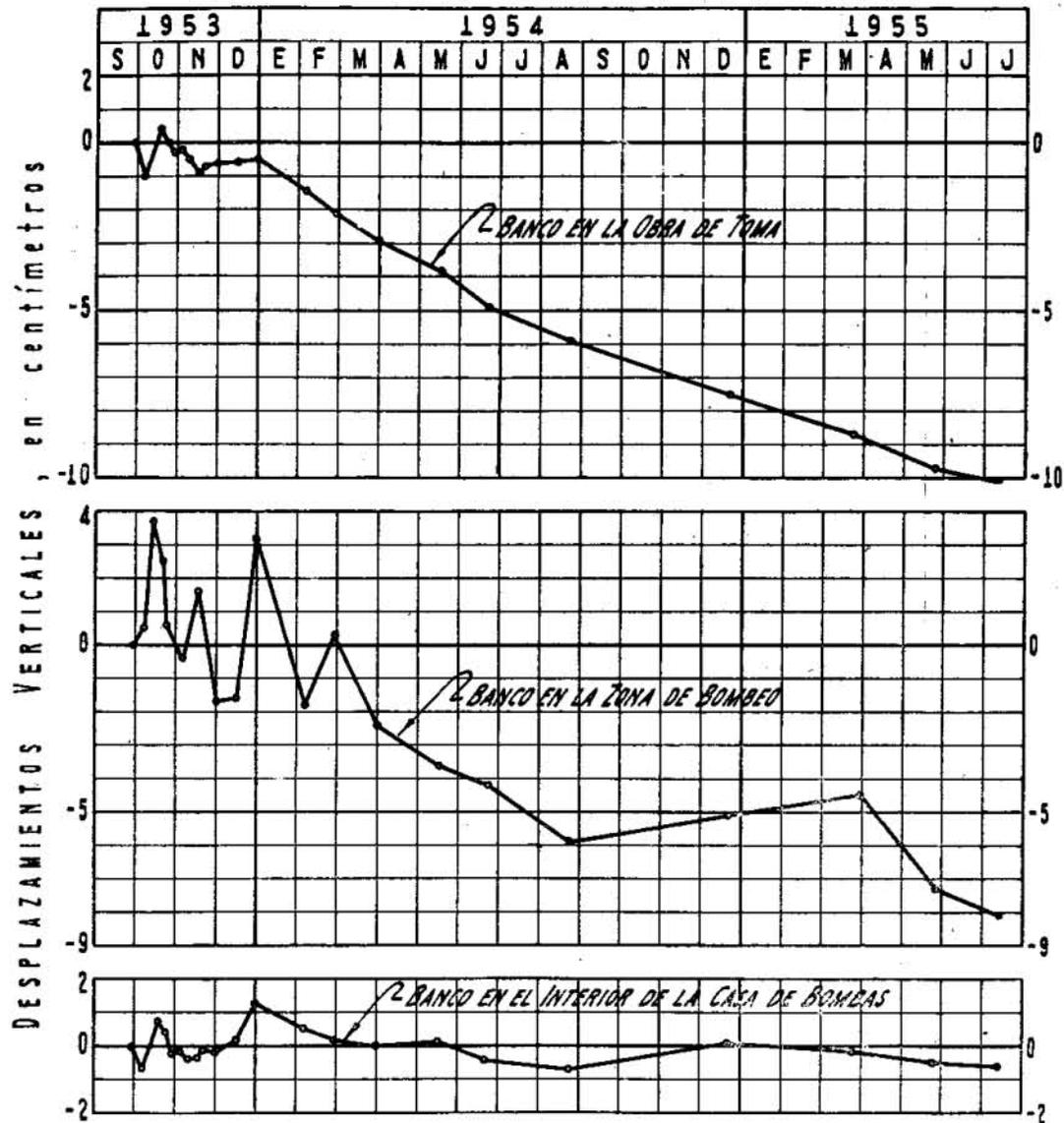


NOTA: Los cálculos de hundimientos están basados en la hipótesis de que se produzca una pérdida de presión en el agua, de 45 ton/m^2 , uniforme en toda el área y que tal condición persista indefinidamente.



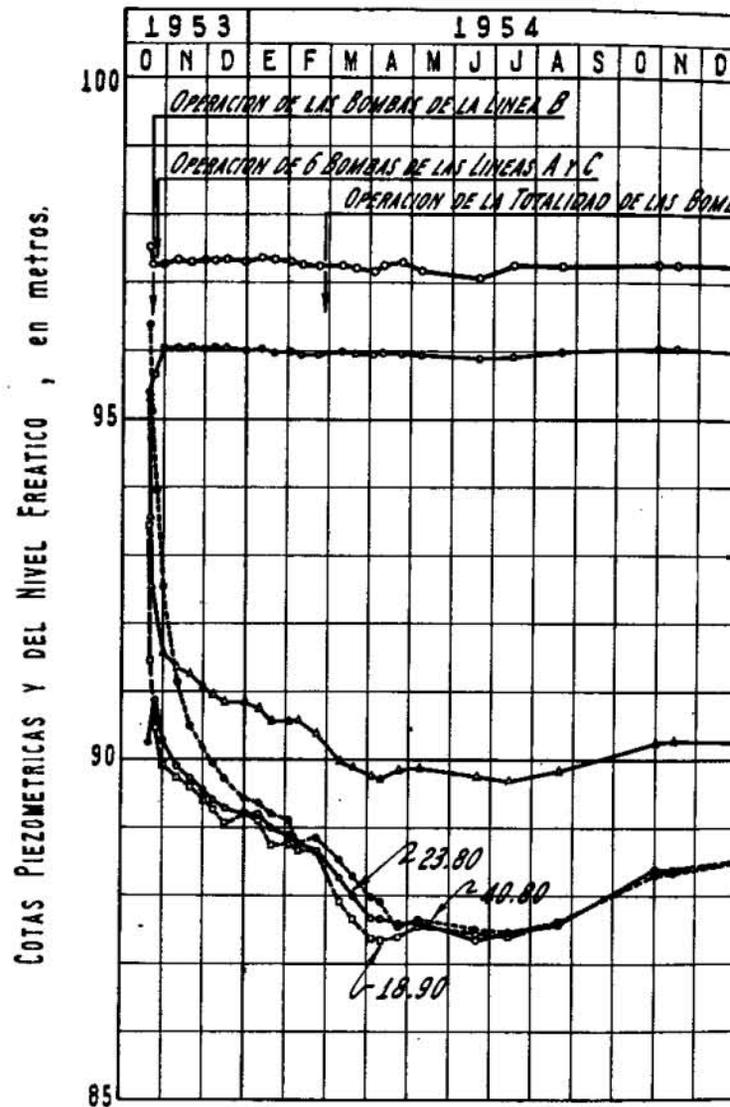
NOTA. La curva de hundimientos fue calculada a partir de las propiedades medias de la formación arcillosa, suponiendo que la pérdida de presión en los acuíferos se mantendrá constante e igual a 1 ton/m^2 año en el futuro y que ella tuvo la evolución, que se indica, en la gráfica adjunta.

PREDICCIÓN DEL HUNDIMIENTO

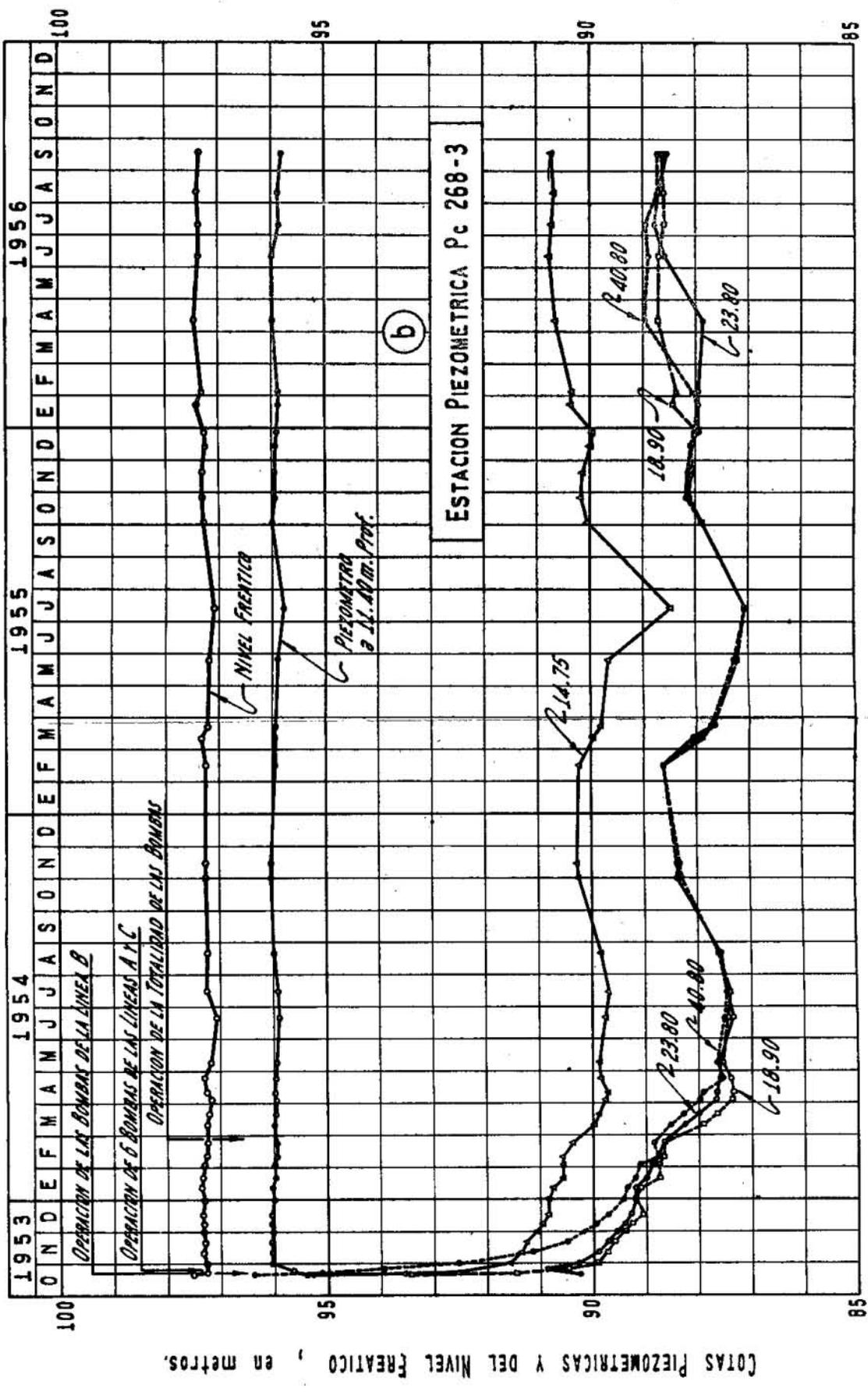


(a)

NIVELACIONES REFERIDAS AL TUBO DE 12" ϕ COLOCADO EN EL LADO SUR DE LA CASA DE BOMBAS, EN XOTEPINGO.

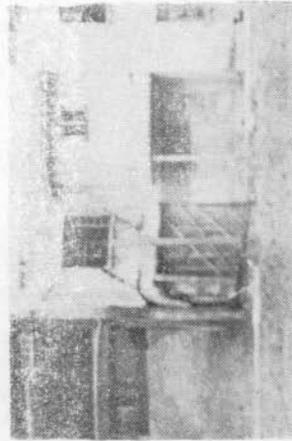


NOTA: La cota 100 corresponde a la superficie del terreno.



NOTA: La cota 100 corresponde a la superficie del terreno.

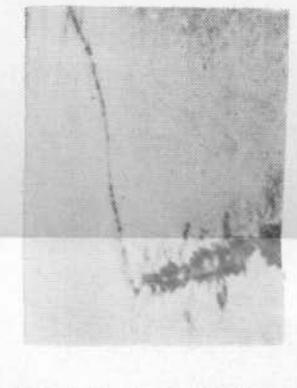
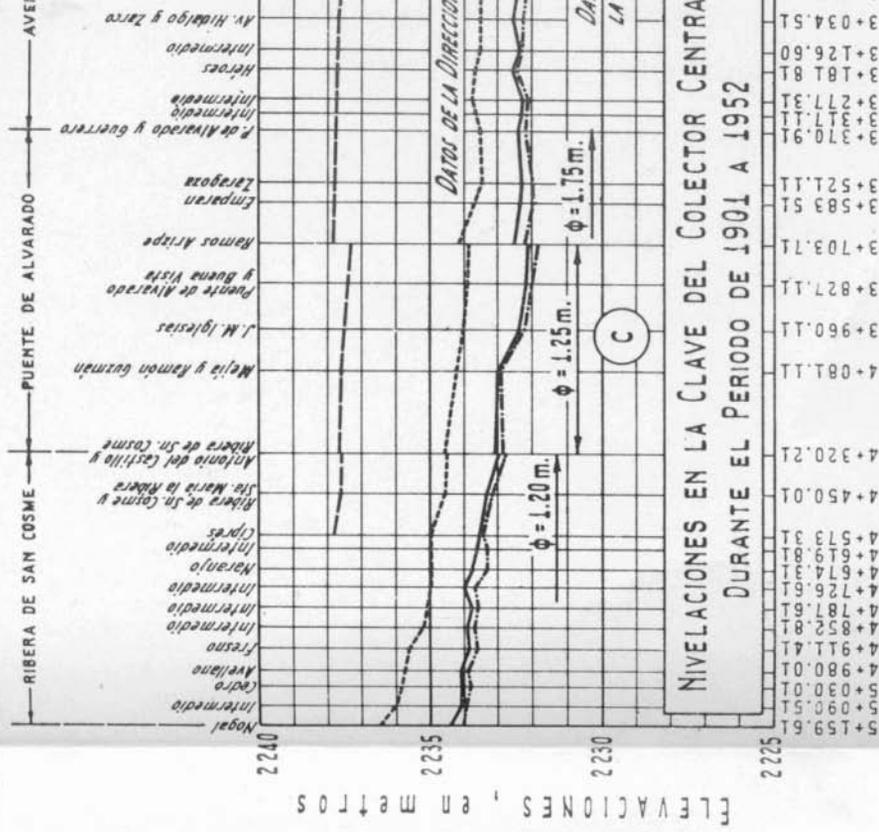
HUNDIMIENTOS Y OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS EN XOTEPINGO



a Daños causados por un edificio cimentado sobre pilotes, en la casa vecina.



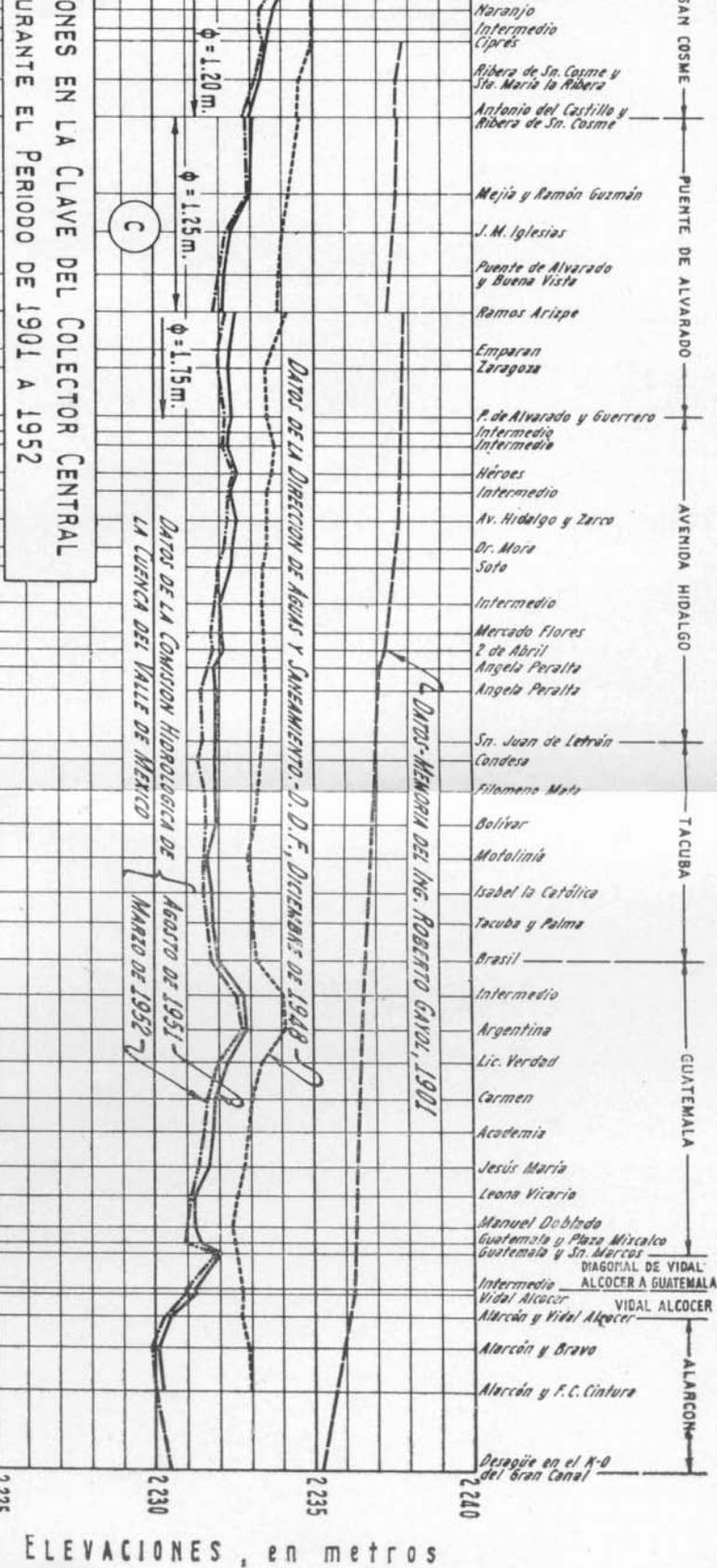
b Asentamientos diferenciales entre el terreno y la estructura piloteada.



d Grietas en el fondo del lago de Texcoco.



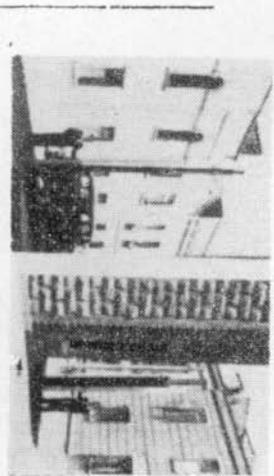
e Ademes de pozos de en 1923, sobresaliente



IONES EN LA CLAVE DEL COLECTOR CENTRAL DURANTE EL PERIODO DE 1901 A 1952

K I L O M E T R O S

NOTA: El origen del kilometraje se encuentra en la confluencia con el K-0 del Gran Canal del Desagüe.



Además de pozos de bombeo perforados en 1923, sobresaliendo del terreno.

EFFECTOS DEL HUNDIMIENTO EN LAS OBRAS DE LA CIUDAD

FIG. 8

tamientos del subsuelo fueron estimados a partir de los cortes geológicos en los puntos sondeados, y de las propiedades mecánicas medias de los materiales afectados por la depresión. Como se nota en la mencionada figura, los hundimientos en ciertas áreas de la Ciudad pueden superar los 20 m.

La forma de la curva hundimientos-tiempo, si la pérdida de presión en la frontera de la capa arcillosa se incrementa a velocidad constante, será la que aparece dibujada en la Fig. 6-b; esta curva, basada en la teoría del Dr. Terzaghi (8) y en un valor del coeficiente de consolidación promedio, de 10^{-3} cm²/seg., muestra que para 1980 el hundimiento puede ser del orden de 9 m.

Si en un momento dado del proceso se restablecen las condiciones de equilibrio hidrostático de presiones en el subsuelo, desaparece el escurrimiento de agua y, por tanto, las fuerzas de filtración que provocaban el enjutamiento de los mantos compresibles; este cambio de estado es equivalente a una descarga, y necesariamente debe observarse una expansión del suelo. Teniendo presente la relación entre los coeficientes de compresibilidad medios para carga y descarga en las arcillas del Valle (véase Fig. 2), se estima que el orden de magnitud de la expansión antes mencionada debe ser la décima parte del hundimiento registrado. Por ejemplo, si en la actualidad se eliminara la causa del desequilibrio piezométrico dentro del área urbanizada, sería de esperarse un movimiento ascendente de la superficie, de 0.50 m. aproximadamente. El retorno a la condición de equilibrio es necesario realizarlo en forma progresiva, para evitar que la citada expansión ocasione perjuicios a las obras de la Ciudad

El mecanismo del hundimiento, antes esbozado, pone en evidencia la causa del proceso, es decir, una pérdida de presión en los depósitos permeables del subsuelo. Las mediciones piezométricas (Fig. 4) y la forma de las curvas hundimientos-tiempos, registradas en edificios o bancos de nivel superficiales (Fig. 1), concurren en apoyo de dicha interpretación teórica. Como dentro del área urbana se ha perforado un gran número de pozos para extraer agua potable del subsuelo, y el bombeo provoca inevitablemente una alteración del estado de presiones en los acuíferos, debe considerarse a este tipo

(8) "Erdbaumechanik", por el Dr. Karl Terzaghi, 1925.

de captación de agua como responsable principal del fenómeno. En 1953 se tuvo la oportunidad de realizar una prueba a escala natural, observando el comportamiento del subsuelo en la zona de bombeo de Xotepingo, operada por el Departamento del Distrito Federal. De julio a octubre de 1953 se suspendió totalmente la explotación de los pozos, y se nivelaron varios puntos localizados en jardines, referidos a un banco desplantado a 200 m. de profundidad; como puede notarse en la Fig. 7-a, los movimientos de la superficie fueron prácticamente nulos en ese intervalo de tiempo. Por otra parte, los niveles piezométricos en el subsuelo tenían la distribución que se señala en la Fig. 7-b, antes del 22 de octubre de 1953; a partir de esta fecha, se puso en operación la mitad de las 31 bombas instaladas en Xotepingo, con los resultados que se muestran en las dos figuras mencionadas. Al mismo tiempo que los bancos de nivel acusaban un asentamiento progresivo, las cotas piezométricas sufrían un abatimiento muy rápido al reiniciar el bombeo, adoptando, en enero de 1954, una ley de depresión, lineal con el tiempo. Las anteriores observaciones demuestran, de una manera concluyente, la naturaleza del proceso de hundimiento.

Se ha pretendido darle a este fenómeno, interpretaciones de índole distinta a la expuesta, pero ninguna de ellas puede justificar la magnitud del hundimiento, ni mucho menos, la forma de las curvas de asentamientos-tiempo dibujadas en la Fig. 1; o sea, no pueden justificar el origen, evolución y cuantía del fenómeno.

e).—EFECTOS DEL HUNDIMIENTO EN LAS OBRAS DE LA CIUDAD.

Los daños que está ocasionando el hundimiento en las obras de diferentes tipos asentadas en el fondo del antiguo Lago de Texcoco, son de todos conocidos. Los edificios piloteados, en algunas zonas de la Ciudad emergen de la superficie y, por efecto de la fricción y la adherencia, restringen el hundimiento en el terreno adyacente, provocando serios daños a estructuras colindantes cimentadas superficialmente (véase Fig. 8-a y b).

Los colectores de la Ciudad, debido a que el hundimiento no es uniforme, han sufrido distorsiones importantes, presentándose casos en que tienen contrapendientes, como el que ilustra la Fig. 8-c. co-

rrespondiente a nivelaciones del colector Central, hechas en distintas épocas. Esa es una de las causas de las inundaciones ocurridas en algunas regiones del área urbanizada.

Por el descenso en la desembocadura de los colectores Norte, Centro y Sur, respecto al nivel original de la plantilla del Gran Canal (actualmente, el descenso es del orden de 2.50 m.), los citados tubos funcionaban ahogados en épocas de lluvias, ocasionando inundaciones en las zonas bajas de la Ciudad. De ahí la necesidad de bombear el agua en la desembocadura de dichos colectores, hacia el Gran Canal.

Se atribuye a la alteración del equilibrio de presiones en el agua del subsuelo, la formación de grietas en el Valle (véase Fig. 8-d), fenómeno que ha adquirido caracteres verdaderamente alarmantes en la última década (9). Hacen falta estudios cuidadosos al respecto, para determinar la naturaleza de este fenómeno y conocer su posible remedio, pero no es aventurado suponerlo asociado al hundimiento.

Por último, construcciones antiguas que habían tenido un comportamiento satisfactorio en años pasados, acusan en la actualidad agrietamientos aparentemente inexplicables, pues las condiciones exteriores de carga en dichas construcciones y en las vecinas, no han sido alteradas. Probablemente, la variación de las propiedades mecánicas de las arcillas, provocada por las mismas cargas de los edificios, unida a la acción del hundimiento, pueden justificar estos agrietamientos.

Como se dijo en inciso anterior, de continuar la pérdida de presiones en el agua, los hundimientos se acelerarán en el futuro, acentuándose los movimientos diferenciales de la superficie. En esas condiciones, no es exagerado predecir serios daños a las obras existentes y a las que se proyecten, si antes o simultáneamente no se resuelve el problema.

Siendo la causa fundamental del hundimiento la caída de presiones en el agua del subsuelo, por una desmedida explotación de los acuíferos de la subcuenca sobre la que está desplantada la Ciudad, es imperativo reducir el bombeo en ella a límites tales que no oca-

(9) "Mecanismos Productores de Grietas" por el Dr. Nabor Carrillo Flores, Congreso Científico Mexicano, 1950.

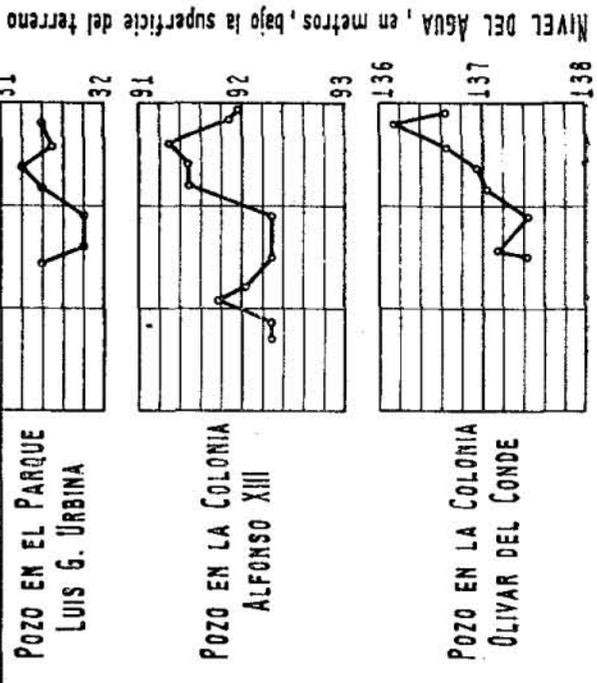
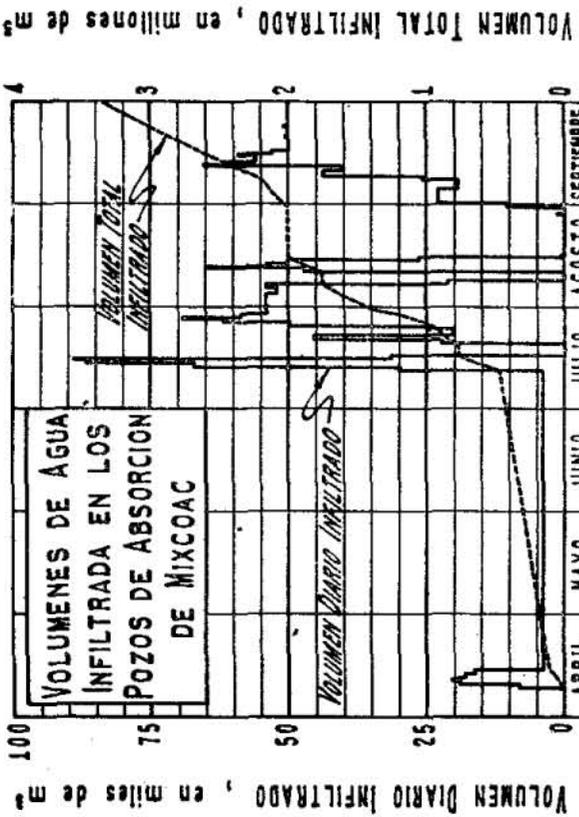
sionen movimientos de la superficie. Se desconoce cuál pueda ser el caudal que cumpla con dicha condición, por lo que será necesario proceder a la clausura de pozos en forma progresiva, controlando el fenómeno mediante nivelaciones del terreno y observaciones piezométricas.

Con objeto de contribuir al alivio de esta situación, la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, está construyendo pozos de absorción en diferentes puntos de la Ciudad (10), para inyectar agua de lluvias previamente decantada y filtrada, a los acuíferos del subsuelo. Cabe distinguir dos tipos de pozos de absorción: los que se han construido dentro de la Ciudad de México, bien sea para resolver problemas locales de drenaje pluvial o para infiltrar las aguas, previamente tratadas, provenientes de los desechos industriales, junto con las aguas de lluvia, a fin de que se reponga en cada industria, el mismo volumen de agua que se extrae del respectivo pozo de explotación; y aquellos pozos de gran infiltración, que se están construyendo en las partes altas de los ríos del poniente de la Ciudad para recargar artificialmente los acuíferos del subsuelo con esas aguas que, en la actualidad, no prestan ninguna utilidad, y en cambio si provocan graves problemas de conducción hasta el Lago de Texcoco, donde finalmente se evaporan.

Desde abril del presente año están funcionando 3 pozos para infiltrar al subsuelo las aguas del río Mixcoac, que regularizadas en la presa del mismo nombre, se envían a un tanque sedimentador y de éste, a través de un filtro de arena, pasan a una caja distribuidora en donde se controla el volumen enviado a cada uno de los pozos. En la Fig. 9-a se muestra que algunos días se inyectó más de 1 m³/seg., variándose este volumen según el tirante de agua en la presa. En 6 meses se han infiltrado más de 3 millones de metros cúbicos.

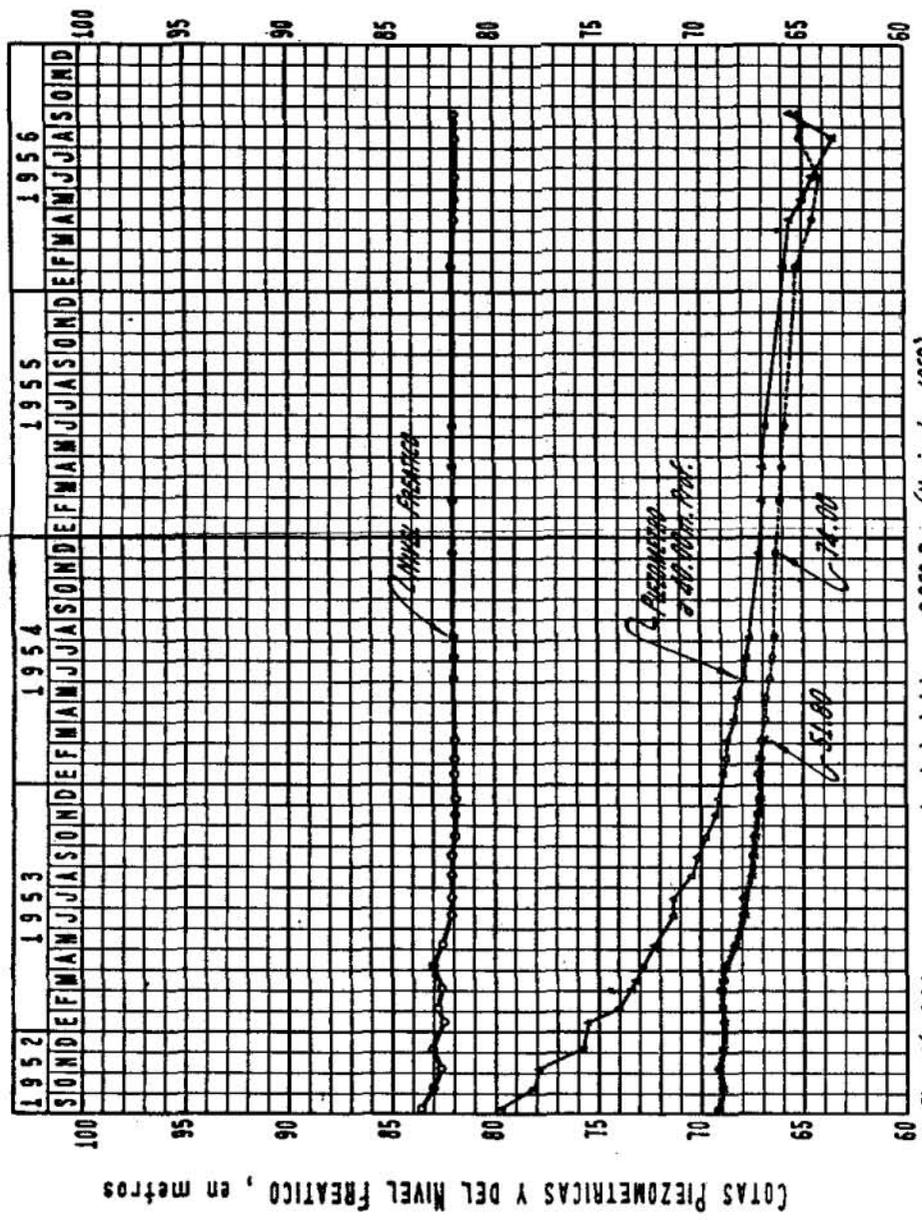
Al mismo tiempo, se está observando la evolución de los niveles del agua en varios pozos de bombeo (véase Fig. 9-b) ubicados aguas abajo de los pozos de absorción; el pozo del Olivar del Conde está situado en la colonia del mismo nombre, a una distancia aproximada de 3 km; el de la colonia Alfonso XIII, a unos 4 km; y el

(10) "Pozos de Absorción", por el Ing. Ignacio Sainz Ortiz, Revista Ingeniería Hidráulica, Vol. VIII, No. 2.



NIVELES DEL AGUA EN LOS POZOS DE BOMBEO

ESTACION PIEZOMETRICA Pc 196



Elevación del terreno con respecto al nivel del mar: 2200.7 m (Noviembre 1952)
 La cota 100 corresponde a la superficie del terreno (banqueta).

INFILTRACION DE AGUA AL SUBSUELO, EN MIXCOAC, D. F.

del parque Luis G. Urbina, sobre la avenida Insurgentes, a 6 km. Las variaciones de los niveles del agua en dichos puntos de medición son congruentes con la curva de gastos infiltrados en los pozos de absorción.

En la Fig. 9-c se presentan las observaciones piezométricas de la estación instalada en el parque Luis G. Urbina. Se observa una recuperación en las presiones del agua, medidas a 40 y 74 m. de profundidad, que coincide también con la inyección de agua en Mixcoac.

Por su parte, el Departamento del Distrito Federal está desarrollando un amplio programa de obras para captar aguas en zonas (Chiconautla y Chalco) que corresponden a subcuencas independientes de la ubicada bajo la Ciudad, con el fin de sustituir el bombeo que en la actualidad se efectúa dentro del área urbanizada, y ampliar la dotación de agua.

México, D. F., Octubre 1956.