

Biblioteca del Instituto Geológico

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

DIRECCION GENERAL DE AGUAS Y SANEAMIENTO

000135

23 OCT 1948

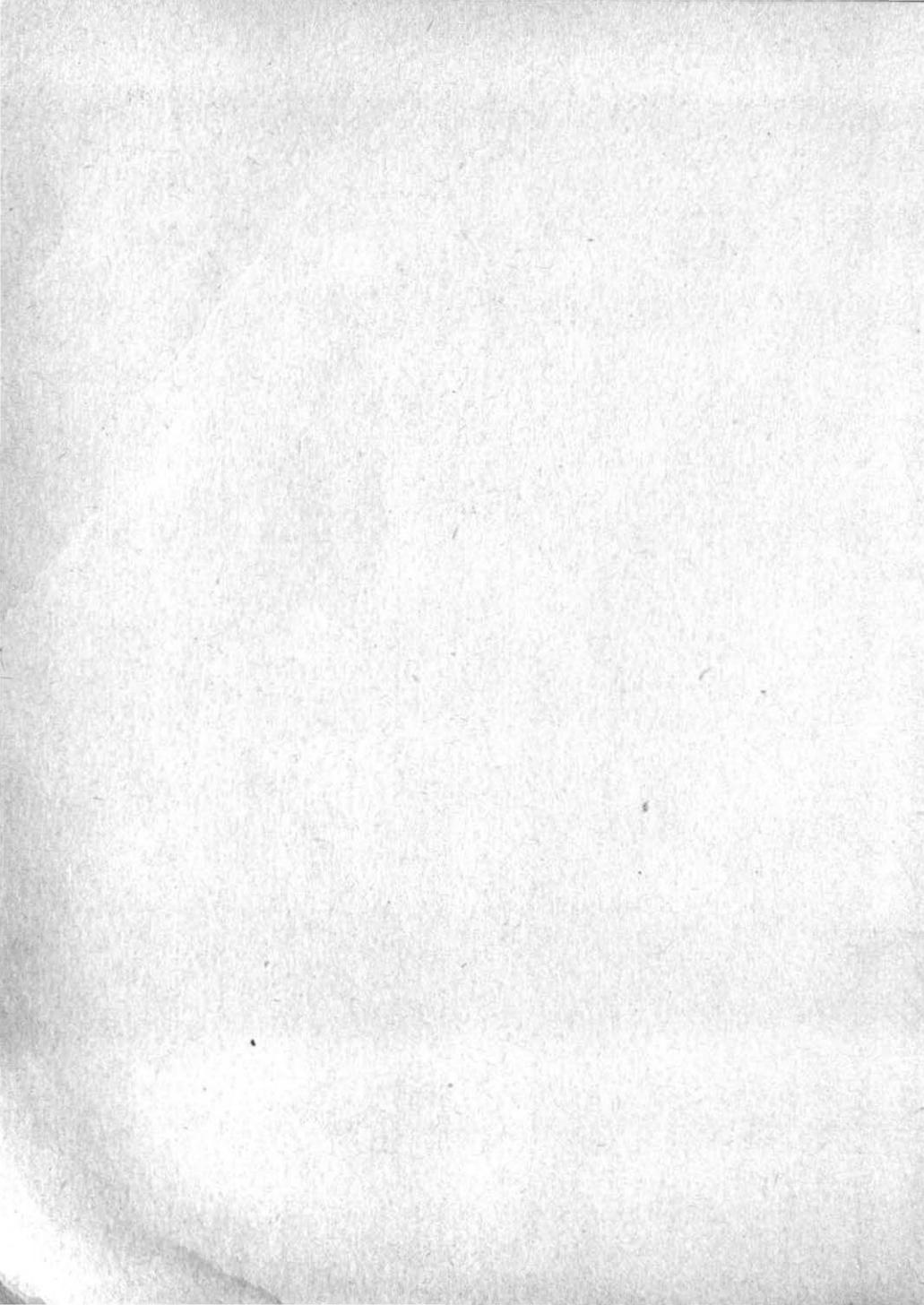


# EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

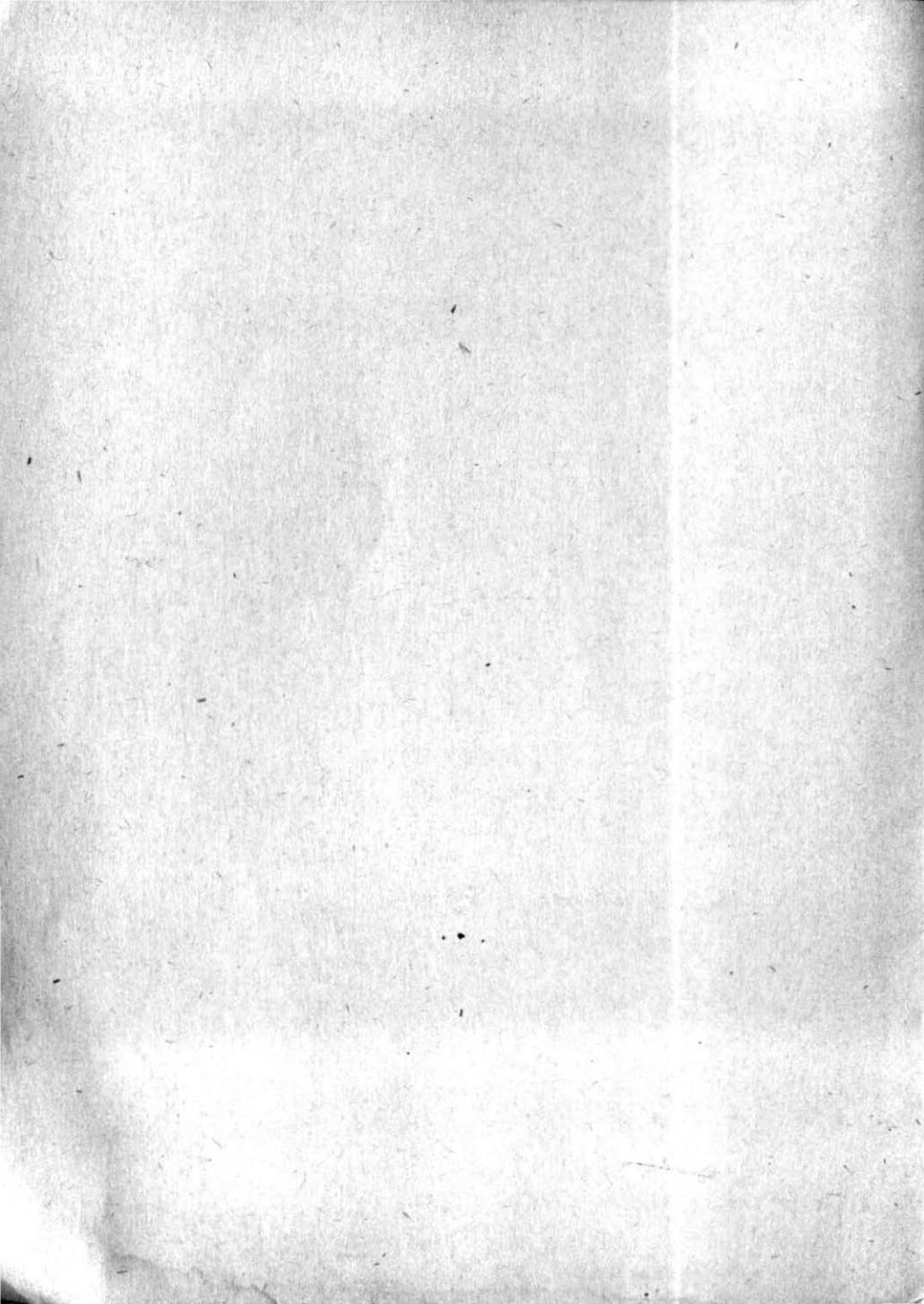
por el Ingeniero

EDMUNDO LELO DE LARREA

1948 3-28



000135



DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS Y SANEAMIENTO

---



# EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

por el Ingeniero

EDMUNDO LELO DE LARREA



1948

CLASIF.: .....

ADQUIS.: .....

FECHA: .....

PROCED.: .....

\$.....



El problema del hundimiento de la Ciudad ha venido preocupando desde hace tiempo a sus habitantes y en mayor grado a los técnicos que se ocupan de la construcción, así como a las autoridades en cuyas manos se encuentra el destino de la Ciudad.

Las opiniones expuestas con este motivo van desde el pesimismo extremo hasta el mayor de los optimismos. De las opiniones optimistas es típica la que afirma que no hay motivo de alarma en que la Ciudad se hunda, cualesquiera que sean las proporciones del hundimiento; y de las pesimistas, la que considera que se producirá una catástrofe de continuar el asentamiento. Considero que no debemos colocarnos en ningún extremo, pero que es urgente que las autoridades del Departamento del Distrito Federal continúen estudiando el fenómeno en toda su complejidad a fin de:

- 1)—determinar las causas del hundimiento de la Ciudad, con objeto de:
- 2)—estudiar la posibilidad de regularizar el fenómeno.

El propósito de este trabajo es intentar señalar varias de las causas predominantes que contribuyen al hundimiento de la Ciudad, sin la pretensión ni de cuantificarlas ni de especificarlas todas, sino de considerar de entre ellas, las que cualquiera podría identificar con sólo una poca de observación; y de hacer ver que el criterio simplista usado al considerar a una sola causa como predominante en el fenómeno del hundimiento de la Ciudad de México, no es bueno, sino unilateral.

Por ejemplo existen causas que influyen más en el fenómeno del asentamiento, que la extracción de las aguas artesianas profundas por medio de pozos aislados de las aguas freáticas mediante sello impermeable, como es el caso de los pozos que se perforan a gran profundidad cementados con lechada de cemento. He procurado describir el fenómeno de manera que aquellas personas que lo deseen puedan omitir la parte técnica, sin que pierdan el hilo de la exposición general.

Existen dos hechos en los cuales se basa esta exposición:

- 1)—la Ciudad se hunde, y
- 2)—el Valle de México se seca.

El primero ya constituye clamor público, y el segundo, es fácilmente comprobable tanto por la observación de los descensos de los niveles de la superficie freática, como por la observación de las disminuciones de presión de las aguas artesianas profundas.

Estos dos hechos están relacionados y no podrían existir hundimientos grandes en tiempos cortos, si a la vez no hubiera salida de las aguas freáticas. Con el objeto de aclarar el examen del fenómeno, transcribo algunos párrafos de la "Mecánica Teórica de Suelos" del Dr. Terzaghi que proporcionan los fundamentos de dicho análisis, así como algunas conclusiones de dicho autor.

En el capítulo XIII sobre la teoría de la Consolidación establece Terzaghi que debido a las propiedades de gran compresibilidad y baja permeabilidad que poseen en alto grado las arcillas grasosas, los cambios en el contenido de agua por las variaciones de los esfuerzos, tienen lugar muy lentamente porque la baja permeabilidad del suelo no permite un paso rápido del agua de una parte de la masa de suelo a otra, o a capas altamente permeables. Este fenómeno produce un desfase de tiempo considerable entre las fuerzas externas que actúan sobre la capa de arcilla y el correspondiente cambio de contenido de agua en el suelo.

El subsuelo del Valle está formado por arcillas grasosas, con las características de la bentonita, alternadas con otras de arena y grava consolidadas; la primera capa de arena y grava se encuentra aproximadamente, a los 35 metros de profundidad y es la que soporta la carga transmitida por los pilotes en los edificios cimentados por este medio.

Comprobé, personalmente, la existencia de esta capa al hincar los pilotes que sirvieron para cimentar la Cámara de Válvulas de Condesa, el año de 1929, y, posteriormente, cuando, al proyectarse la cimentación del edificio de La Nacional, los señores arquitectos Manuel Ortíz Monasterio, Bernardo Calderón y el arquitecto Avila, hicieron una perforación de exploración para convencerse de la veracidad de los datos que les suministró sobre piloteado y sobre la existencia de dicha capa de arena y grava en el sitio donde actualmente se encuentra el edificio citado.

Después de esa fecha, al hacer el hincado de los pilotes para la cimentación de edificios en distintos lugares de la Ciudad, se ha comprobado plenamente la alternancia de capas de arcilla, arena, grava y tepetates.

El señor Ing. Eduardo Ortega Casas ha recabado bastantes datos sobre la localización de dichas capas, pudiendo apreciarse, en el plano obtenido con los dibujos que suministró a la Oficina de Estudios y Proyectos del Lerma, la distribución de la arcilla y la arena hasta una profundidad de 45 metros a lo largo de la Avenida Insurgentes.

Existen, también, perforaciones hechas en los Ferrocarriles Nacionales en las que, así mismo, pueden apreciarse las distintas capas de arcillas y arenas, por lo tanto, el caso estudiado por el Dr. Terzaghi es aplicable al suelo de nuestra Ciudad.

En el capítulo mencionado, el Dr. Terzaghi establece, además lo siguiente:

"La diferencia de tiempo entre el cambio de las fuerzas externas y el correspondiente cambio del contenido de agua del suelo es la causa principal del asentamiento progresivo de cimentaciones sobre arcilla así como de algunos otros procesos de importancia práctica. Las teorías que tratan sobre estos procesos se llaman teorías de la Consolidación y como las otras teorías de la Mecánica de los Suelos y de Ingeniería Estructural están basadas en suposiciones que las simplifican y por lo tanto los resultados representan solamente aproximaciones a la realidad.

## SUPOSICIONES EN LA TEORIA DE LA CONSOLIDACION.

"Con pocas excepciones todas las Teorías existentes sobre consolidación están basadas en las siguientes suposiciones:

- 1a.—Los huecos del suelo están completamente llenos de agua.
- 2a.—Tanto el agua como las partículas del suelo son completamente incompresibles.
- 3a.—La ley de Darcy es estrictamente aplicable.
- 4a.—El coeficiente de permeabilidad  $k$  es una constante y finalmente la diferencia en el tiempo de consolidación es debida completamente a la baja permeabilidad del suelo.

Las teorías de los siguientes artículos se basan también en las suposiciones suplementarias siguientes, a menos que se especifique lo contrario.

- 1).—La arcilla está confinada lateralmente.
- 2).—Tanto el esfuerzo normal efectivo como el total son constantes para todos los puntos de una sección horizontal a través de la arcilla y para cada etapa del proceso de consolidación.
- 3).—Un incremento de la presión efectiva del valor inicial  $\bar{p}_0$  a un valor final  $\bar{p}$  reduce la relación de vacíos de la arcilla de un valor inicial  $e_0$  a un valor final  $e_1$ ;

La relación:

$$a_{vc} = \frac{e_0 - e_1}{\bar{p} - \bar{p}_0} c \text{ m}^2/\text{gr.} \quad (1)$$

Se considera constante para una variación de presión de  $\bar{p}_0$  a  $\bar{p}$  se llama coeficiente de compresibilidad.

Si la presión efectiva se reduce de un valor inicial de  $\bar{p}_1$  a un valor final de  $\bar{p}$  la relación de vacíos aumenta de un valor inicial  $e$  a un valor final  $e^1$ .

La relación:

$$a_{vc} = \frac{e^1 - e}{\bar{p} - \bar{p}_1} \quad (2)$$

Se considera también como constante para una variación de la presión de  $\bar{p}$  a  $\bar{p}_1$ . Se le llama coeficiente de recuperación elástica.

De la ecuación (1) se obtiene:

$$e_0 - e = a_{vc} (\bar{p} - \bar{p}_0)$$

La cantidad,  $e_0 - e$ , representa la disminución del volumen de los vacíos en un prisma de suelo con el volumen inicial,  $1 + e_0$ .

La relación inicial de vacíos  $e_0$  corresponde a un volumen de éstos por unidad de volumen de sólidos o porosidad  $n_0 = \frac{e_0}{1 + e_0}$ .

El volumen final de vacíos  $e$  corresponde a una porosidad:

$n_0 = \frac{e}{1 + e}$ ; por lo tanto la disminución  $\Delta n$  del volumen de vacíos por unidad de volumen inicial de sólido o disminución de la porosidad es:

$$\Delta n = n_0 - n_{01} = \frac{e}{1 + e_0} (\bar{p} - \bar{p}_0) = m_{vc} (\bar{p} - \bar{p}_0) = m_{vc} \Delta \bar{p}; \quad (4)$$

en la cual  $\Delta \bar{p}$  es el incremento de la presión unitaria efectiva.

El valor:

$$m_{vc} = \frac{a_{vc}}{1 + e_0} \text{ cm}^2/\text{gr.} \quad (5)$$

es el coeficiente de disminución de volumen. El valor correspondiente para un proceso de expansión debido a una reducción de la presión efectiva es:

$$m_{vs} = \frac{a_{vs}}{1 + e_0} \quad (6)$$

y se llama coeficiente de expansión de volumen. Cuando no haya posibilidad de confusión el segundo índice en los símbolos  $a_v$  y  $m_v$  puede omitirse.

Las suposiciones anteriores determinan las propiedades físicas asignadas a la arcilla ideal que constituye el tema de las investigaciones teóricas subsiguientes:

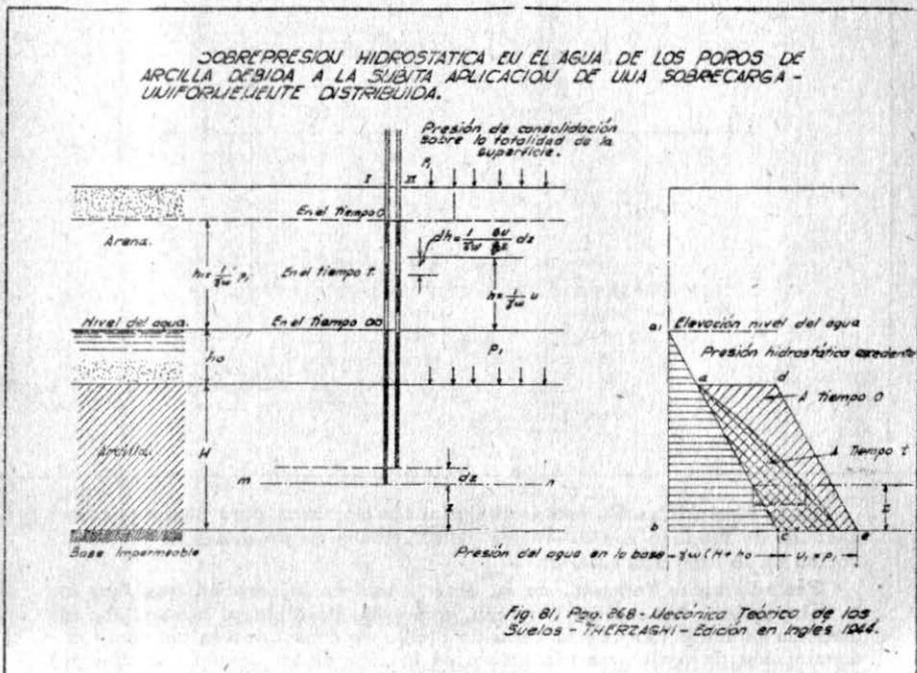
Las ecuaciones (1) a (3) representan una burda aproximación a la relación entre la presión efectiva de una arcilla real en un estado de completo confinamiento lateral y la correspondiente relación de vacíos. Por esta razón las teorías que se basan en dichas ecuaciones pueden aplicarse solamente a procesos en los cuales la deformación lateral de la capa de arcilla en consolidación, es pequeña comparada con la deformación vertical. Debido a que se ha supuesto que no hay variaciones de esfuerzos en las secciones horizontales, la circulación del agua a través de la arcilla tiene lugar solamente a lo largo de líneas verticales; en los casos prácticos la distribución de esfuerzos en las secciones horizontales nunca es perfectamente uniforme, pero el error cometido al considerarla así puede no ser tomado en cuenta. Hasta aquí he seguido con toda fidelidad la exposición del Dr. Terzaghi, y en lo que sigue me esforzaré por explicar el mecanismo de la consolidación de la arcilla, para lo cual utilizaré la figura Núm. 81 anexa de la obra citada. Dicha figura representa una capa de arcilla ideal de un espesor  $H$ , asentada sobre una base impermeable y sobre la cual se encuentra una capa de arena de un determinado espesor mayor que la altura  $h$  del nivel freático contado a partir de la parte superior de la arcilla. Sobre la superficie superior de la arena se coloca una carga  $p_1$  uniformemente distribuida en la superficie del terreno.

Dicha carga se extiende en todas las direcciones cubriendo la superficie de la arena.

La línea  $m-n$  representa una sección horizontal a través de la arcilla a la cual se encuentra conectado el piezómetro I. A una distancia  $dz$  arriba de la sección  $m-n$  se encuentra conectado otro piezómetro indicado con el número II. La carga  $p_1$  se entiende que es por unidad de área de la superficie de arena. En la parte derecha de la figura se ha representado por las abscisas de la línea  $a-c$  la presión hidrostática de los puntos localizados a distintas distancias del nivel freático, suponiéndose que varía linealmente con la profundidad antes de aplicar la sobrecarga. Cuando ésta se aplica, el piezómetro I, marcará una presión hidrostática mayor

siendo el exceso de:  $h_1 = \frac{p_1}{w}$ , en la cual  $w$  es el peso unitario del agua.

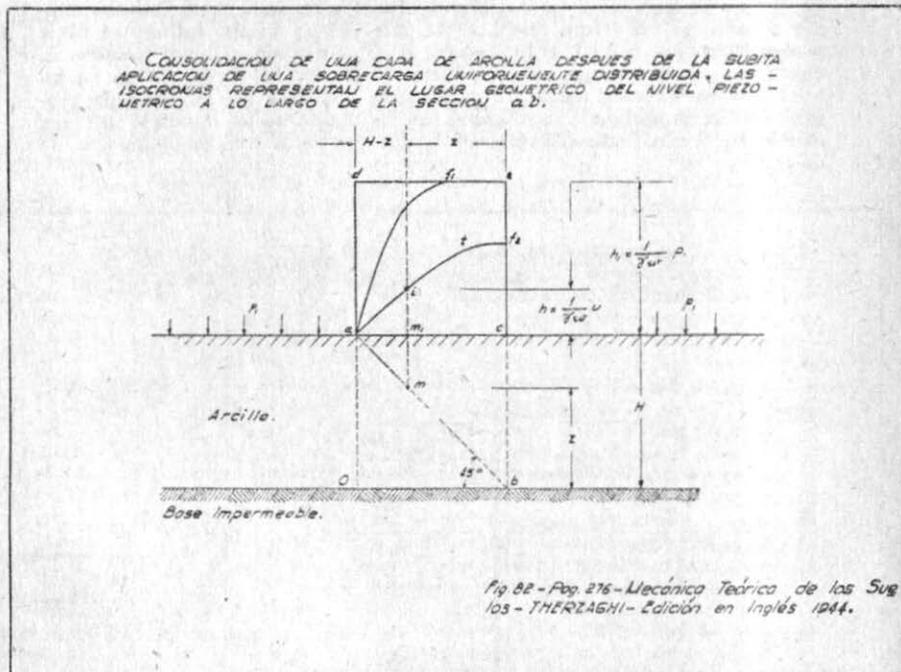
Esto quiere decir que la carga  $p_1$  ha quedado transmitida a la arcilla, la cual principia a consolidarse. El aumento de la presión derivada de la carga  $p_1$  se ha representado por el paralelogramo  $acde$ , en el cual  $ce$  es igual a la carga unitaria  $p_1$ . En este momento se inicia el proceso de consolidación que fundamentalmente consiste en la emigración de una parte del agua de la arcilla hacia la arena, dando lugar a que la primera disminuya el volumen de sus huecos. El proceso total de la consolidación requiere un tiempo  $t$  durante el cual el agua del piezómetro va bajando lentamente con lo que la sobrepresión  $h$  que actúa sobre la arcilla varía según una determinada relación matemática representada por la curva que se encuentra en el interior del paralelogramo, para distintas alturas  $z$  sobre la base impermeable. Al cabo de un tiempo infinito el nivel piezométrico del tubo  $I$ , habrá vuelto a coincidir con el nivel freático, lo cual indicará que el proceso de consolidación se ha verificado en su totalidad. Como consecuencia, la curva representativa del aumento de presión en las superficies horizontales de la arcilla se confundirá otra vez con la línea  $a1c$ . Todo este proceso habrá ocasionado un asentamiento de la arcilla.



En la figura número 81, la curva que se encuentra en el interior del paralelogramo  $acde$ , representa las variaciones de la sobrepresión de la capa de arcilla para un tiempo dado, variando la magnitud de la sobrepresión  $u$  con la profundidad  $z$ . No es propiamente una isócrona, pues ésta la

define Terzaghi como el lugar geométrico de los niveles a los cuales se eleva el agua en tubos piezométricos a lo largo de la sección  $ab$ , en la figura Núm. 82.

En dicha figura la isócrona  $O$ , está indicada por la línea quebrada  $ade$ , cuya parte horizontal  $de$ , corresponde a la altura equivalente a la carga  $p_1$  colocada en el terreno. Al transcurrir un determinado tiempo, la isócrona va cambiando de posición y de forma, estando representada para el tiempo  $t$  por la línea  $af_2$ . La distancia  $ef_2$ , representa el incremento del esfuerzo normal efectivo en la base impermeable de la arcilla.



En la figura Núm. 83, están dibujadas las isócronas para distintas condiciones de drenado con diferentes distribuciones de presiones de consolidación en la dirección vertical.

Posteriormente Terzaghi, en su libro, establece la relación que liga a la sobrepresión hidrostática  $u$  con la presión variable  $p$ , transmitida a distintas profundidades de la capa de arcilla en consolidación así como la disminución de vacíos para la arcilla en función de la presión variable  $p$ . Establece también la ecuación diferencial del incremento de velocidad en función de la variación de la relación de vacíos y finalmente con la fórmula de Darcy diferenciada con respecto de la profundidad llega a establecer la ecuación diferencial de la sobrepresión hidrostática en función del tiempo y de la profundidad  $z$ , así como del coeficiente de consolidación  $c_v$ .

Esta ecuación puede integrarse cumpliendo las condiciones de frontera que establece posteriormente en la página 274 de su libro, en la cual la ecuación 3A, liga a la sobrepresión hidrostática  $u$  con la profundidad y el tiempo siendo esta la ecuación de la curva encerrada en el paralelogramo adice de la figura Núm. 81.

LAS ISOCRONAS REPRESENTAN EL AVANCE DE LA CONSOLIDACION DE UNA CAPA DE ARCILLA IDEAL PARA DIFERENTES FORMAS DE DRENAJE Y DISTINTAS DISTRIBUCIONES DE LA PRESION DE CONSOLIDACION EN UNA DIRECCION VERTICAL.

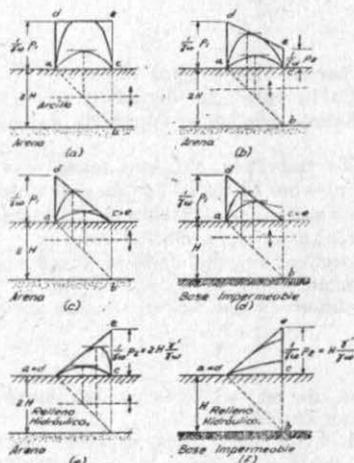


Fig. 82 - Pág. 218 - Mecánica Teórica de los Suelos - THERZAGHI - Edición en Inglés 1944.

El proceso completo del desarrollo hasta llegar a la ecuación diferencial puede verse en el tantas veces mencionado libro del Dr. Terzaghi.

Para calcular el asentamiento diferencial causado por la consolidación considera Terzaghi que éste es directamente proporcional a la variación de volumen y al elemento  $dz$ ; por sustitución del valor de  $\Delta u$  en función de la sobrecarga  $p_1$  y de la sobrepresión hidrostática variable  $u$

obtenida antes, llega a una expresión que integra, resultando una ecuación que da el valor del asentamiento en función del coeficiente de disminución de volumen  $m_v$  de la sobrecarga  $p_1$ , y del espesor  $H$  de la capa de arcilla. Estos tres factores quedan multiplicando a la unidad menos una expresión que toma en cuenta el tiempo de la consolidación en forma exponencial. Llama después factor tiempo  $a$ :

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} \times t$$

En la cual:  $T_v$  = factor tiempo.  
 $C_v$  = Coeficiente de consolidación  $\text{cm}^2/\text{seg}$ .  
 $t$  = Tiempo en segundos.  
 $H$  = Espesor de la capa de arcilla en cms.

El asentamiento total está dado por:

$$r_1 = m_v p_1 H$$

Siendo:

$r_1$  = Asentamiento total en mts.  
 $m_v$  = Coeficiente de disminución de volumen en  $\text{cm}^2/\text{kgr}$ .  
 $p_1$  = Sobrecarga en la superficie del suelo en  $\text{kgr}/\text{cm}^2$ .

En la página 283 del Terzaghi hay unas curvas "tiempo-consolidación", que permiten obtener el valor  $T_v$  para distintos porcentajes de consolidación con cuyo valor puede calcularse el tiempo necesario para que el asentamiento  $r$  tenga un determinado valor.

Vamos ahora a aplicar las dos últimas fórmulas al caso de los suelos de la Ciudad de México.

Naturalmente, tendremos que hacer algunas suposiciones adicionales.

Supondremos:

- Que la totalidad de los edificios en el centro de la Ciudad está cimentada por superficie.
- Que la superficie de las calles soporta una sobrecarga derivada del tránsito igual a la carga de los edificios.
- Que la carga de los edificios es uniforme e igual  $0.500 \text{ kgr}/\text{cm}^2$ .

Ya vimos que:

$$m_v = \frac{\Delta v}{1 + e_0}$$

$\Delta v$  - tiene, para las arcillas de México un valor de  $1 \text{ cm}^2/\text{kg}$ .

El valor de  $e_0$  es de 6, conservadoramente, y en consecuencia:

$$m_v = \frac{1}{1 + 6} = \frac{1}{7} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

La sobrecarga  $p_1$  tendrá un valor de:  $p_1 = 0.500 \text{ kg}/\text{cm}^2$

H suponemos que tiene un valor de 200 mts., o sea que la arcilla en proceso de consolidación tiene un espesor de 200 mts.

En estas condiciones el asentamiento total valdrá:

$$r_1 = \frac{0,500 \times 200}{7} = 14,30 \text{ mts.}$$

El tiempo en el cual la Ciudad se asiente el 50% o sea, 7.15 mts. Se calcula en la forma siguiente:

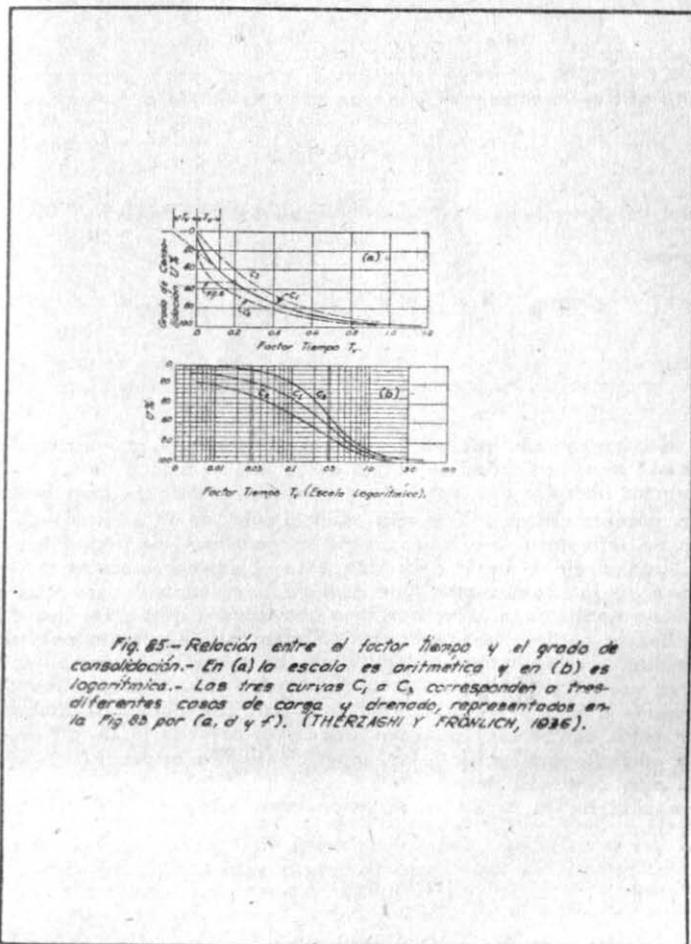


Fig. 85—Relación entre el factor tiempo y el grado de consolidación.— En (a) la escala es aritmética y en (b) es logarítmica.— Las tres curvas  $C_1$  a  $C_3$  corresponden a tres diferentes casos de carga y drenado, representados en la Fig. 8b por (a, d y f). (THERZAGHI Y FRÖNLICH, 1936).

La curva  $C_1$  de la figura 85, página 283, del Terzaghi, da para el 50% de asentamiento  $T_v = 0.2$ ;  $c_v$  para la Ciudad de México vale: 0.002 cm<sup>2</sup>/seg. y tendremos:

$$T_v = \frac{c_v t}{H^2}$$

$$\therefore t = \frac{T_v H^2}{c_v} = \frac{0.2 \times 2^2 \times 10^8}{2 \times 10^{-8}} = 4 \times 10^{10} \text{ segundos.}$$

Un año tiene:  $60 \times 60 \times 24 \times 365 = 3.15 \times 10^7$  segundos.

El tiempo necesario para que la Ciudad se hunda 7.15 mts. es de:

$$t_{\text{años}} = \frac{4 \times 10^{10}}{3.15 \times 10^7} = 1270 \text{ años.}$$

Para que el hundimiento tenga un valor de 0.70 mts. o sea de:

$$\frac{0.7}{14} \times 100 = 5\%$$

el valor correspondiente de  $T_v$  es aproximadamente de:  $T_v = 0.01$ .

Luego

$$t = \frac{0.01 \times 4 \times 10^8}{2 \times 10^{-8}} = 2 \times 10^9 \text{ segundos.}$$

$$t_{\text{años}} = \frac{2 \times 10^9}{3.15 \times 10^7} = 63.5 \text{ años.}$$

O sea, suponiendo que los 70 cmts. se distribuyeran proporcionalmente en los 63.5 años la Ciudad se hundiría con una velocidad de 1.1 cms/año.

Veamos ahora lo que sucede con los pozos artesianos bien hechos.

Un pozo artesiano afecta una zona circular de radio igual al de su círculo de influencia que para propósitos prácticos los perforistas consideran igual al doble de la depresión para el gasto bombeado, pero para ponernos en las condiciones más desfavorables supondremos que perforamos una cantidad tal de pozos bien cementados que todos sus círculos de influencia se sobrepongan de tal manera que el abatimiento del nivel artesiano sea uniforme en todo el manto, e igual a 5 mts. de columna de agua por debajo del nivel freático, cuyos 5 mts. corresponden aproximadamente a una  $p_2$  de 0.500 kgrs/cm<sup>2</sup>. para los efectos de drenado.

En estas condiciones podemos aplicar el caso de la figura 83 d.

Es evidente que todas estas suposiciones nos colocan en las condiciones más desfavorables.

Terzaghi da la siguiente ecuación para este caso (pág. 281, ecuación (3)).

$$r_1 = m_v H \frac{p_1 + p_2}{2}$$

En nuestro caso  $p_1 = 0$  y tendremos:

$$r_1 = \frac{1}{7} \times 1200 \times \frac{0.500}{2} = 7.15 \text{ mts.}$$

El tiempo en el cual se verifica el 50% del fenómeno será:

$$t = \frac{2^2 \times 10^8 \times T_v}{0.002} = 2 \times 10^{11} \times T_v$$

$T_v$  vale 0.1 (curva C<sub>2</sub>, figura 85)

$$t = 2 \times 10^{11} \times 0.1 = 2 \times 10^{10} \text{ segundos.}$$

$$t_{\text{años}} = \frac{2 \times 10^{10}}{3.15 \times 10^7} = 0.635 \times 10^3 = 635 \text{ años.}$$

Es decir que el hundimiento por los pozos sería de 3.58 mts. en 635 años. Para que el hundimiento tenga un valor de 2.14 mts. o sea aproximadamente del 30% se necesitará un tiempo:

$$t = 2 \times 10^{11} \times T_v.$$

y  $T_v$  vale aproximadamente 0.027.

$$t = 5.4 \times 10^{10} \text{ segundos.}$$

$$t_{\text{años}} = \frac{5.4 \times 10^{10}}{3.15 \times 10^7} = 1.71 \times 10^3 = 171 \text{ años.}$$

Suponiendo que el hundimiento de 2.14 mts. se repartiera uniformemente en el tiempo  $t$  del asentamiento total, la Ciudad se hundiría a una velocidad de:

$$\frac{2.14}{171} = 1.25 \text{ cms./año.}$$

He intentado dar una idea de las proporciones del hundimiento ocasionado por la cimentación por superficie que resultó de 1.1 cms/año, y por el bombeo de aguas artesianas profundas, aisladas de las aguas freáticas por un sello impermeable, con un valor de 1.25 cms/año, valiéndome de los principios establecidos por una reconocida autoridad mundial en Mecánica de Suelos como lo es el Dr. Terzaghi; de los pocos datos de que se dispone en México y utilizando las curvas de consolidación de Terzaghi, con el exclusivo propósito de comparar los órdenes de las magnitudes de ambos fenómenos y hacer ver que la Ciudad se hunde, aproximadamente, al mismo ritmo debido a las cimentaciones por superficie y por bombeo de aguas artesianas, considerando que se cubre la Ciudad de pozos de manera que éstos no solamente afectan a su círculo de influencia sino que deprimen uniformemente en 5 mts. el nivel freático en toda la Ciudad.

He seguido también la misma secuela de cálculo del Dr. Nabor Carrillo en la Conferencia que dió sobre la influencia de los pozos en el hundimiento de la Ciudad a un grupo de Ingenieros del Departamento del Distrito Federal, con los mismos valores de  $a_v$ ,  $e_0$ , y  $c_v$ , según la versión de la misma, hecha por el C. Arq. Ricardo Rivas e Ing. Faustino Rivera Doniz.

La comparación hecha bajo las mismas bases es válida para la relación de las magnitudes aún cuando no dé una idea precisa sobre los verdaderos valores del hundimiento y hace ver que no debe haber más motivo de alarma por el bombeo de aguas artesianas, que por la cimentación por superficie, por los efectos de la cual nadie se preocupa.

Al suponer que se sobrecargaba uniformemente el suelo de la Ciudad de México con 0.500 kg/cms<sup>2</sup>. podría argumentarse que las calles no pueden tener esta sobrecarga y tendría que aceptar que el efecto del hundimiento por la cimentación por superficie afectaría únicamente al área edificada y para reducir a un mínimo esta influencia podría suponerse que el área construida es solamente una cuarta parte de la superficie total de la Ciudad que sería la única afectada; pero en este caso habría que considerar que en realidad el número de pozos está limitado por el gasto que se piensa extraer.

Si éste es de 6 m<sup>3</sup>/seg. y de cada pozo extraemos 20 lts./seg. con una depresión de 5 mts., promedio conservador, el número de pozos sería de 300. Los perforistas dan para el radio del círculo de influencia un valor igual al doble de la depresión, pero para poner en las peores condiciones a los pozos le daremos a este radio un valor de 200 mts. El círculo de influencia puede interpretarse como la zona dentro de la cual el pozo succiona agua. El área que afectaría cada pozo sería de 125600 mts<sup>2</sup>. y el área total que afectarían los pozos sería de 37680000 mts<sup>2</sup>. que es aproximadamente la cuarta parte también de la superficie de la Ciudad. Los datos numéricos en que se ha basado esta estimación son sumamente desfavorables para los pozos, pues les asigné un gasto muy pequeño con una gran depresión y aumenté el radio del círculo de influencia hasta hacerlo 20 veces mayor que el de la regla de los perforistas concentrándolos en la Ciudad y aun así las áreas afectadas por la cimentación por superficie y por el bombeo en pozos artesianos es la cuarta parte de la total de la Ciudad.

Al aplicar la teoría de la consolidación en el caso de la cimentación por superficie he hecho intervenir en el proceso una capa de arcilla homogénea con un coeficiente de permeabilidad constante y de 200 mts. de espesor para poder comparar este caso con el de los pozos siguiendo la escuela del Dr. Carrillo en su análisis de la influencia de estos últimos en el asentamiento de la Ciudad, en su conferencia ya citada aún cuando estas suposiciones no son enteramente exactas toda vez que la permeabilidad no es constante y el suelo está constituido por material heterogéneo.

A mayor abundamiento, en el Memorandum Técnico 67 de la Comisión Nacional de Irrigación, titulado notas sobre Mecánica de Suelos y Cimentaciones, por F. L. Plummer, cuarta parte, puede verse que Terzaghi, en el Vol. III de los Proceedings de la Conferencia Internacional sobre Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Harvard, 1936, pág. 79, da las siguientes conclusiones:

- 1.—El asentamiento siempre es desigual para edificios flexibles;
- 2.—El asentamiento depende del suelo que está hasta una profundidad 1-1/2 veces el ancho del área cargada.
- 3.—La teoría por sí sola es insuficiente y debe suplementarse con registros basados en estructuras reales.
- 4.—La inspección visual de las muestras de las perforaciones es insuficiente.
- 5.—Los cálculos están limitados a lechos de arcilla bien definidos y regularmente homogéneos en los cuales predomina el escurrimiento ver-

tical (afortunadamente esto comprende los casos que presentan más dificultades).

6.—Las pruebas a pequeña escala son, en general, fútiles.

La segunda conclusión es desfavorable para la cimentación por superficie, para edificios aislados, pues al depender el asentamiento por edificio principalmente de un espesor relativamente corto de suelo, si bien disminuye el valor del asentamiento debido a la consolidación de dicha capa, en cambio se verifica a mayor velocidad.

Aunque la cuantificación de las causas del asentamiento llegará a hacerse cuando se disponga, no de datos aislados y dispersos, sino de un conjunto de observaciones directas y de experiencias de laboratorio, llevadas ambas a cabo mediante un programa planeado con miras amplias, y una coordinación armónica de labores entre las dependencias que tengan que intervenir, continuaremos, sin embargo, señalando las causas posibles y viables, junto con un primer intento de cuantificarlas.

Tomando en cuenta que parece ser un hecho que el ritmo de hundimiento general de la Ciudad es aproximadamente, de 30 cms. por año, se deduce que ni la cimentación por superficie, ni los pozos artesianos, construidos o por construir son las causas principales de dicho hundimiento; y que la causa predominante hay que localizarla, como se mostrará adelante, en la extracción de las aguas freáticas sin rellenado simultáneo de la cuenca.

La extracción de aguas freáticas se efectúa continua y sistemáticamente, con más eficacia que si se tratara de obedecer una disposición gubernamental, por medio de las siguientes vías y procedimientos:

1º.—Los albañales de la Ciudad han seguido los descensos enteramente irregulares de la capa en la que se asientan, y estando constituidos por sistemas rígidos de tuberías de concreto de diámetros variables, al hundirse irregularmente, abren sus juntas y funcionan como drenes en los casos, que son los más frecuentes, en que existe carga hidrostática, o sobrecarga estática, o ambas.

2º.—Se efectúa un bombeo continuo de las aguas drenadas por los sótanos de edificios ya construidos, para mantener secos dichos sótanos, y de las aguas drenadas por las excavaciones profundas de las cimentaciones de los numerosos edificios en construcción, con objeto de trabajar en seco. En ambos casos las aguas freáticas bombeadas son arrojadas al drenaje.

3º.—Existen aproximadamente, 2,000 pozos de los cuales se extraen aguas para usos particulares, construidos fuera del control de las autoridades del Departamento, los que, casi con seguridad, no han sido cementados, y son menos profundos que los que se construyen para el abastecimiento de agua de la Ciudad.

Tal es el cuadro de extracción de las aguas freáticas de las capas vecinas a la superficie del suelo, que es, como veremos, el que acelera la velocidad del hundimiento.

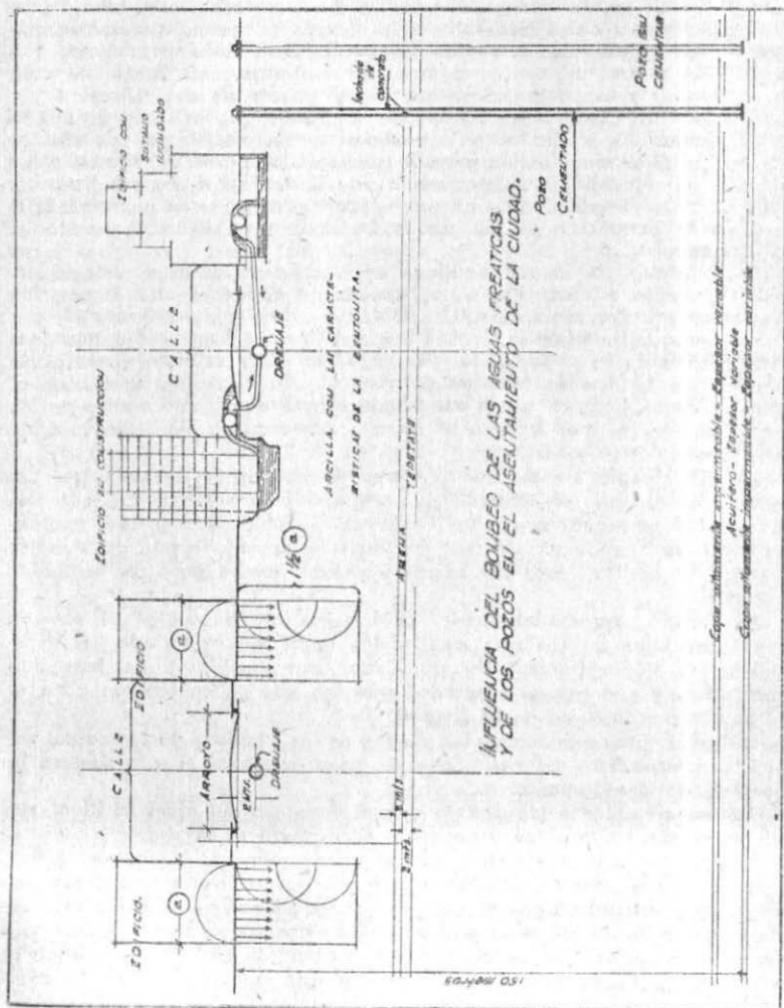
Existen ejemplos evidentes de que el descenso del nivel freático provoca hundimientos rápidos y de entre ellos citaré el siguiente:

El acueducto de Xochimilco en sus nueve primeros kilómetros, a partir de la Cámara de Válvulas de Condesa, se encontraba totalmente resquebrajado, teniendo fugas en toda esta longitud que se valorizaban aproximadamente en un m<sup>3</sup>/seg.; y al tratar de evitar estas fugas sustituyendo el acueducto por una doble tubería de fierro fundido de 1.20 m. de diámetro con juntas Gilbault, se eliminó la fuente que conservaba alto el nivel

freático. A los seis meses aproximadamente, empezaron a registrarse asentamientos en las construcciones vecinas, cuyo hecho me consta por estar localizando mi domicilio a una cuadra del acueducto.

He seguido con interés este proceso de asentamiento y me he podido dar cuenta de que es general en los nueve kilómetros del acueducto sustituido por tuberías, estando los efectos a la vista de todo el que pase por la Avenida Juarcatlán, en la que puede verse que el acueducto cimentado sobre pilotes, ha emergido del nivel general de los pavimentos.

Puede citarse, así mismo, las conferencias que en el año de 1939 dió



en México el Dr. Terzaghi, traducidas por el Ing. Francisco Gómez Pérez, en las cuales se hace notar que el sólo hecho de abrir cepas o zanjas profundas ocasionan asentamientos, debido a la emigración del agua freática. Este hecho puede observarse en muchos de los edificios en construcción, en cuyos alrededores se aprecia el asentamiento de las fajas de suelo próximas a las excavaciones.

Similarmente, en tiempos del Ing. Gayol, a raíz de la construcción de la red de albañales, se observó que se iniciaban asentamientos rápidos en la Ciudad. El Ing. Manuel Marroquín y Rivera lo afirma en su memoria sobre las Obras de Xochimilco.

Pasaré pues, a examinar el mecanismo del drenado del agua freática, que están efectuando, la red de albañales por una parte, y el bombeo de sótanos y fosas de edificios existentes o en construcción y de pozos particulares, por otra; e insisto en que los toscos resultados cuantitativos presentados aquí en un prematuro intento, tienen por objeto únicamente comparar los probables órdenes de magnitud de las causas del fenómeno.

Al hacer las pruebas de consolidación de una arcilla con el consolidómetro, puede obtenerse la permeabilidad de la muestra. Esta permeabilidad da una idea, de acuerdo con las suposiciones simplificadoras de Terzaghi del paso del agua a través de la arcilla en dirección paralela a la de la carga cuando la primera se somete a una presión estática, en otras palabras, cuando es exprimida, indicando la mayor o menor facilidad con la que suelta su agua, y este valor de  $k$  no puede identificarse en rigor con el coeficiente de permeabilidad cuando la arcilla actúa como masa filtrante, sin carga estática y con carga hidrostática.

La permeabilidad varía mucho durante la consolidación, y en cambio cuando se trata de un filtro puede considerarse constante.

Las variaciones de la permeabilidad en la consolidación son función de la relación de vacíos.

El Dr. Terzaghi, en sus tantas veces mencionado libro sobre Mecánica de Suelos, en el capítulo XV estudia el caso de drenado en una capa de arcilla al perforar una lumbrera o pozo y de la perforación de un túnel y sus efectos en la consolidación en las zonas vecinas. El primer caso podría aplicarse a la perforación de pozos artesianos sin cementar tomando en cuenta las modificaciones necesarias para la Ciudad de México.

El caso del túnel no puede aplicarse a la red de drenaje, puesto que esta está colocada en la capa superior del suelo de la Ciudad que no está constituida exclusivamente por arcillas sino por estratos de suelos variados: cascote, tierra vegetal, etc., y se comporta, por tanto, como un medio anisotrópico, es decir con propiedades físicas variables con la dirección.

A mayor abundamiento, en la consolidación el flujo se verifica siguiendo líneas verticales y en el drenado por las tuberías de la red de albañales, fosas para edificios en construcción y sótanos de los construidos es aproximadamente, horizontal y vertical en un 50% cada uno, como puede apreciarse por la red de flujo anexa.

En la pág. 23 de las Notes of Soil Testing for Engineering Purposes, de A. Casagrande y R. E. Fadum, dan para depósitos estratificados de arcillas un permeabilidad con un valor que va desde  $10^{-3}$  hasta  $10^{-7}$

Aún hay más, el propio Dr. Arthur Casagrande en el Journal de Junio de 1937 de la New England Water Works Association, página 154 afirma que para medios anisotrópicos como las capas superficiales del suelo de la Ciudad de México el valor de  $k$  en dirección horizontal, puede ser muchas veces mayor que en dirección vertical.



"Para estratificaciones no uniformes esta relación puede ser mucho mayor de diez".

En vista de estas razones para tener una idea del orden de magnitud, calculé el coeficiente de permeabilidad por la fórmula de Terzaghi, que P. Forchheimer da en la página 65 de su "Tratado de Hidráulica" sustituyendo  $u$  por la porosidad  $n$ .

Dicha fórmula es:

$$k = 5.56 \times 10^{-9} \frac{(1.15 u - 0.15)^{11}}{(1.15 u - 0.15)^8 (1 - u)^4 + 0.0166 (1 - u)^{12}} \cdot \frac{n_0}{n_1} \text{ cm/seg}$$

Que transformada da:

$$k = 5.56 \times 10^{-9} \frac{1}{1.15 n - 0.15} \left( \frac{1.15 n - 0.15}{1 - n} \right)^4 \cdot \frac{n_0}{n_1} \frac{1}{1 + 0.0166 \left( \frac{1 - n}{1.15 n - 0.15} \right)^8}$$

En la cual  $n$  es la porosidad;  $n_0$  la viscosidad del agua a  $0^\circ\text{C}$  y  $n_1$  la viscosidad a  $t^\circ\text{C}$ .

Los valores de la viscosidad se encuentran en la página 48 de dicho libro y valen:

$$n_0 = 1.814 \times 10^{-5}$$

$$n_1 = 1.335 \times 10^{-5}$$

Sustituyendo valores en la fórmula anterior y ejecutando operaciones resulta una permeabilidad  $k = 1.88 \times 10^{-4}$  para el caso real de una arcilla con  $e_0 = 12.49$  a la cual corresponde una  $n = 0.925$ .

El valor de esta permeabilidad es muy alto aún cuando está dentro de los límites de Casagrande. Conservadoramente aceptamos para  $k$  un valor 19 veces menor que el calculado, es decir  $k = 10^{-5}$ .

La red de drenaje tiene un desarrollo de 2000 km. y para mantenernos en un terreno conservador consideremos que toda tiene un diámetro de 0.35 mts. despreciando el incremento del drenado por los colectores de gran diámetro y profundos. Forchheimer da la siguiente fórmula (Página 93 "Tratado de Hidráulica").

$$q = k h \frac{m}{n}$$

En la cual:  $q$  = Gasto de infiltración por unidad de longitud.

$k$  = Coeficiente de permeabilidad.

$m$  = Número de tubos de igual escurrimiento en la red de flujo.

$n$  = Número de caídas de potencial en la red de flujo.

El gasto total será:

$$Q = q l = k h l \frac{m}{n}$$

Siendo  $l$  la longitud del dren.

En la red de flujo anexa:

$$m = 10 = N_c$$

$$n = 9 = N_h$$

y para nuestro caso:

$$k = 10^{-6}$$

$$l = 2 \times 10^8 \text{ cms.}$$

$$h = 106 \text{ cms.}$$

Sustituyendo estos valores en la fórmula anterior queda:

$$Q = 10^{-5} \times 106 \times 2 \times 10^8 \times \frac{10}{9} = 236.000 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 236 \text{ lts/seg.}$$

Existe una norma norteamericana que establece que para el cálculo de redes de drenaje se considere 0.5 lt/seg/km. por aguas infiltradas en redes bien hechas y aplicando este criterio a los 2000 km. de red de la Ciudad resultaría un gasto por infiltración de 1000 lts/seg.

Se ve que el gasto que obtuve es muy conservador, dadas las condiciones de nuestra red. Redondearemos el gasto a 200 lts/seg.

Para confirmar el conservador de este cálculo examinaré los aforos del Gran Canal que consignan un gasto mínimo para el mes de enero, en el cual no llueve, de 4.05 y 4.63 m<sup>3</sup>/seg. para los años de: 1944 y 1945, respectivamente.

Desde una época anterior se cierra completamente el servicio de abastecimiento de agua de la Ciudad durante la noche y solamente quedan conectados los pozos, debiendo ser éste, aproximadamente, el gasto que registrara como mínimo el Gran Canal.

En la actualidad los pozos oficiales dan un gasto de 3.8/m<sup>3</sup>/seg. gasto que fué mucho menor en los años de 1944 y 1945, pero que podemos considerar como la cantidad mínima de agua abastecida en esos años incluyendo los pozos particulares, y comparando ambos mínimos, se aprecia de inmediato que hay otra entrada de agua a la red de saneamiento.

Veamos ahora el efecto de este drenado. Con un gasto de 0.200 m<sup>3</sup>/seg. al cabo de un año se habrá extraído un volumen de agua de:

$0.200 \times 31.5 \times 10^6 = 6.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Considerando que el año tiene en números redondos  $31.5 \times 10^6$  segundos.

El área de la Ciudad es de 15,000 Hs. ó  $150 \times 10^6 \text{ mts}^2$ .

El espesor de la capa de agua extraída será de:

$$\frac{6.3 \times 10^6}{150 \times 10^6} = \frac{6.3}{150} = 0.042 \text{ m./año} = 4.2 \text{ cm./año.}$$

El espesor que deja libre el agua sería lo que se asentaría la Ciudad por este concepto.

Por cada 100 lts/seg. de extracción de agua freática, se asentaría la la Ciudad:

$$\frac{4.2}{2} = 2.1 \text{ cm./año.}$$

Como puede notarse, el hundimiento por el drenado de la red de saneamiento es 3.36 veces mayor que por bombeo en pozos artesianos bien cementados, considerados éstos en las condiciones más desfavorables.

Al estimar el drenado de la red no se tuvo en cuenta el aumento en el flujo por efecto de la cimentación por superficie.

Si al drenado anterior agregamos el del bombeo en los edificios en construcción y en edificios ya construídos con sótanos inundados (ver cuadro anexo sobre la causa única del hundimiento de la Ciudad) estimados en 100 unos y otros, bombeando cada uno de manera continua solamente 1 lt./seg., resultarían otros 100 lts./seg., o sea otros 2.1 cm/año de asentamiento de la Ciudad.

Quedaría por estimar el efecto de los 2000 pozos particulares perforados a pequeñas profundidades y que se comprende que sea mayor que el de los pozos profundos por lo que se refiere a la velocidad del hundimiento. De manera arbitraria démosle un valor de 2 cm./año.

Causa del hundimiento.	Orden de magnitud del valor del asentamiento.	% del total
A—Cimentación por superficie .....	1.1 cm/año.	10.35
B—Pozos artesianos profundos .....	1.25 "	11.70
C—Red de drenaje .....	4.20 "	39.50
E y F—Bombeo en edificios .....	2.10 "	19.75
D—Pozos particulares .....	2.00 "	18.70
<b>Total.</b>	<b>10.65 cm/año.</b>	<b>100.00</b>

El asentamiento total deducido de la tabla anterior no coincide con el promedio de 30 cms. por año, de hundimiento de la Ciudad, por tratarse en ambos casos de promedios, y estar los dos, sujetos a una cuantificación exacta, interesando únicamente la columna final, en porcientos, como índices de la influencia de cada una de las causas apuntadas.

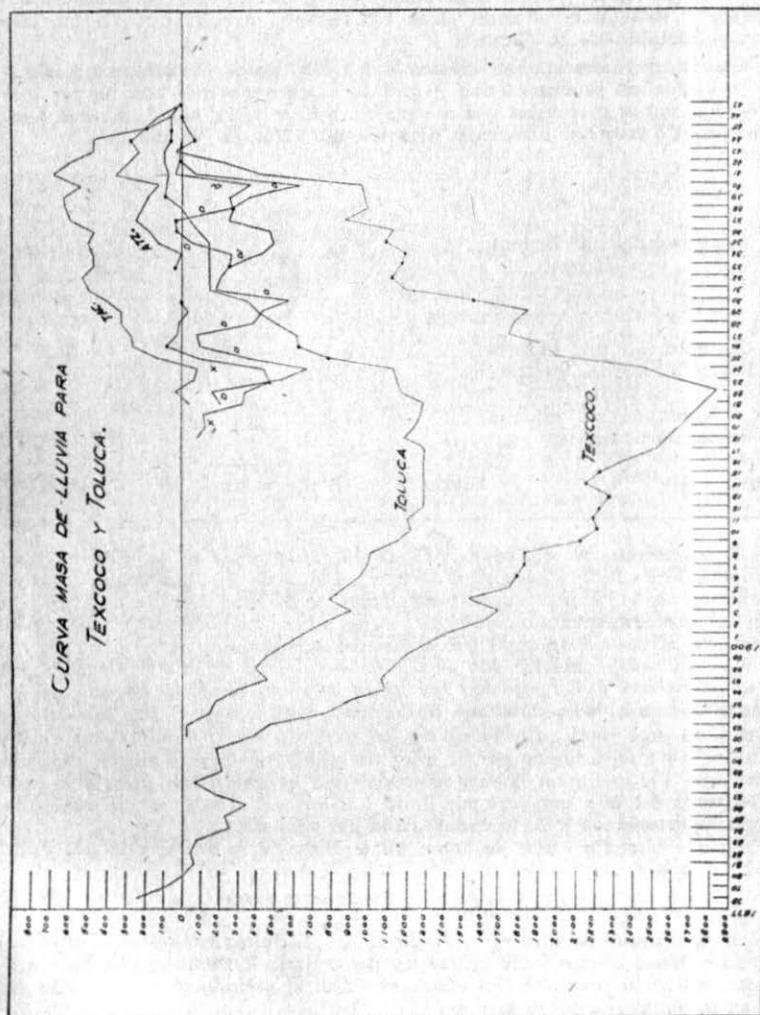
Con la tabla anterior doy una idea de la importancia relativa de las diversas causas de emigración del agua freática, e insisto en que he intentado comparar los fenómenos, no teniendo importancia el que los valores de  $a_v$ ,  $e_o$  y  $c_v$  sean diferentes de los que dió en su conferencia el Dr. Carrillo, los que, además de ser muy variables, no coinciden con algunos datos que obran en mi poder, obtenidos por especialistas, pues solamente se trata de una comparación bajo las mismas bases en los casos de los pozos artesianos y de la cimentación por superficie.

Pasaré ahora a tratar de hacer un análisis de la desecación del Valle de México.

La curva masa de lluvias se obtiene de la manera siguiente (ver dibujo anexo).

Si se dispone de una serie de datos de precipitaciones pluviales anuales, se obtiene el promedio aritmético de la serie ininterrumpida. Este promedio indica la precipitación ideal anual, si el periodo que abarca la serie es lo suficientemente grande.

Las ordenadas de la curva masa de lluvia se van calculando restando la primera precipitación anual del promedio; la diferencia será la primera ordenada y la abscisa, el año correspondiente; la segunda ordenada será la diferencia entre la suma de las dos primeras precipitaciones pluviales menos dos veces el promedio, y corresponderá a una abscisa igual a dos años; la tercera ordenada será la diferencia entre la suma de las precipitaciones anuales de los tres primeros años menos tres veces el promedio, con una abscisa igual a tres años, etc.



La curva masa de lluvia anexa la calculé con datos que recabé de las tarjetas correspondientes del Instituto Meteorológico.

Esta curva tiene muy curiosas propiedades. Una de ellas es que cuando el lapso que abarcan las estadísticas de lluvia es lo suficientemente grande se acusa perfectamente un ciclo de precipitación pluvial, puesto que el promedio obtenido es realmente representativo y digno de fé por estar considerados en él, períodos de sequía y de lluvias abundantes. El ciclo es incierto cuando el lapso es corto.

En el dibujo anexo puede verse la casi perfecta correspondencia entre la curva masa de lluvias de Toluca y de Texcoco lo que no puede atribuirse ni a coincidencia ni a falta de honradez al hacer los reportes anuales dada la lejanía de ambos lugares. Las otras curvas masa corresponden a Atzacapotzalco, Tacubaya, etc., pero no interesan a nuestro propósito.

Trataré de interpretar físicamente esta curva. Imaginémosnos un tanque de muy grandes proporciones lleno de agua hasta un cierto nivel y del cual estamos sacando de manera continua un gasto equivalente al promedio anual. Si en el primer año llueve menos que el promedio, el nivel del tanque bajará; si llueve más, subirá, pasando lo mismo en los años siguientes. Las variaciones de las ordenadas representarán, entonces, las oscilaciones del nivel de los almacenamientos subterráneos y, por lo tanto, de los niveles freático y artesiano, así como de la escorrentía. La inclinación general de la curva dividida en las partes necesarias indicará un vaciado o un rellenado de la cuenca según que la pendiente sea positiva o negativa: rellenado en el primer caso y vaciado en el segundo.

Observando la curva vemos que de 1878 a 1922 hubo un período de sequía con el consiguiente vaciado de los almacenamientos subterráneos y que, de 1922 a la fecha, el lapso corresponde a un rellenado de la cuenca y a lluvias abundantes.

En las "Transactions of the American Society of Civil Engineers" de diciembre de 1918, en el informe No. 1416, el Ing. A. L. Sonderegger estudia con mucha profundidad las relaciones entre las oscilaciones de la "curva masa de lluvias" en la cuenca de San Bernardino, California que es parecida al Valle de México, y los niveles freático y artesiano, así como de los valores de la escorrentía, afirmando que las experiencias han demostrado qué, para que exista equilibrio hidrológico, las curvas construidas con los niveles freático y artesiano y con los valores de la escorrentía, deben ser paralelas a la curva masa de lluvias para los mismos años.

Esto suministra un posible control del bombeo de pozos artesianos, del agua freática y de la escorrentía.

Sería muy interesante recabar toda la información posible sobre el problema de San Bernardino por su similitud con el del Valle de México.

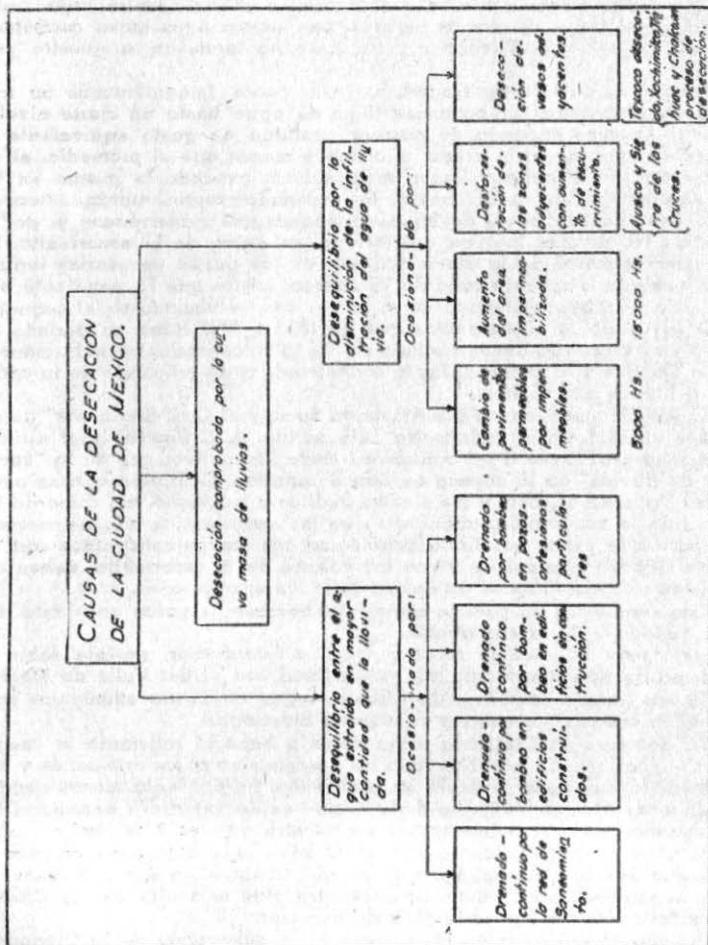
En ese trabajo analiza el Ing. Sonderegger varios procedimientos para rellenar la cuenca y conservar su riqueza hidrológica.

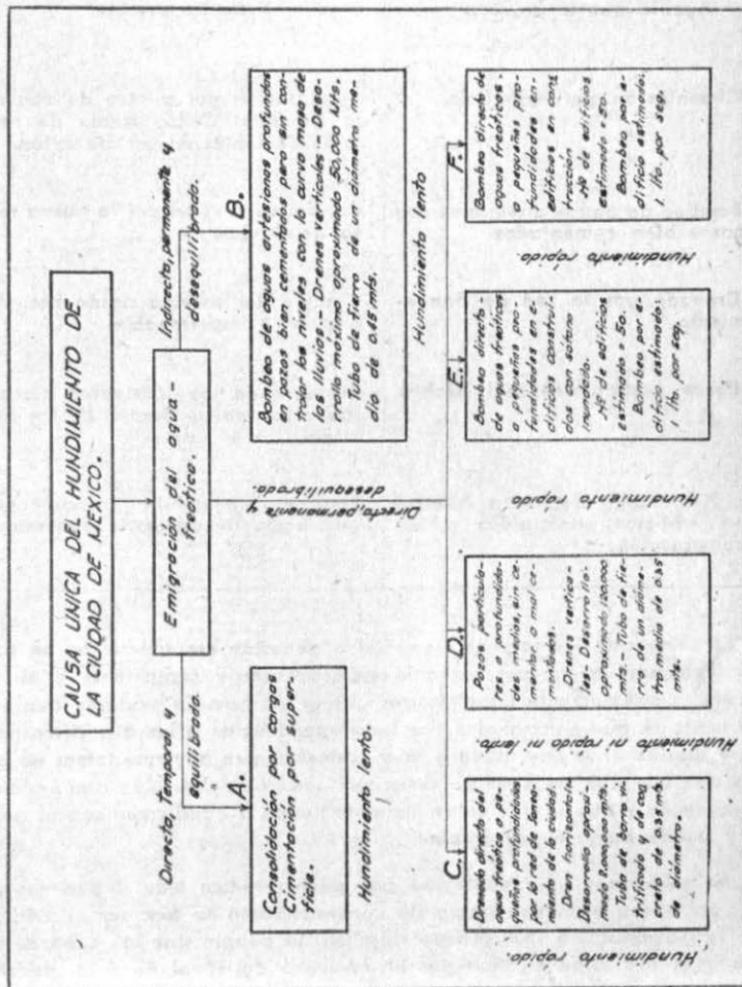
Ya dije que de 1922 a la fecha debería haberse rellenado la cuenca y, por el contrario, se ha observado un descenso en pozos artesianos y manantiales, lo que hace evidente la desecación, no por lenta menos segura, del suelo de nuestro Valle. Se deduce, que es de imperiosa necesidad iniciar estudios para la conservación de nuestra riqueza hidrológica.

El Lago de Xochimilco se encuentra adyacente a la zona en proceso de desecación, el nivel del agua descende, también, en forma alarmante y como, según tengo entendido, se encuentra algo más alto que la Ciudad, el pronóstico es fatal para la vida de ese Lago.

Del cuadro anexo sobre las causas de la desecación de la Ciudad de México falta considerar la disminución de la infiltración por; 1°—sustitu-

ción de los empedrados y adoquinado de las calles de la Ciudad, que tenía una superficie de 5,000 hs. en 1928, por asfalto y concreto en una ciudad de 15,000 hs. en 1948; 2°—la deforestación de zonas adyacentes con el correspondiente aumento de la escorrentía; 3°—la desecación de vasos adyacentes; pero me parecen estas causas tan obvias y evidentes, que juzgo inútil insistir sobre ellas. Por otra parte, creo que los cuadros hablan por sí solos complementados con el dibujo sobre la disminución de la infiltración, anexo.





Los referidos cuadros sugieren de inmediato los posibles remedios contra esos males, que tabule a continuación.

## HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD

Agente que lo provoca	Remedio posible.
A—Cimentación por superficie.	Cimentación por pilotes de concreto o con el último tramo de concreto. Cimentación por flotación.
B—Bombeo de aguas artesianas con pozos bien cementados.	Control de niveles por la curva masa de lluvias.
C—Drenado por la red de Saneamiento.	Cambio del sistema rígido por otro flexible e impermeable.
D—Pozos particulares mal hechos.	Revisión de los existentes clausurando los malos. Control de los perforados en el futuro.
E y F—Bombeo de agua freática en edificios construídos y en construcción.	Retorno al suelo del agua bombeada por medio de pozos de absorción.

Es claro que los remedios sugeridos deberían ser objeto de un cuidadoso estudio hecho por personal especializado y competente y si lo sugiero es simplemente para mostrar que si los hay. Es evidente también que tendrían que ser tratados por las Dependencias a las que correspondían y que de ellos hay algunos muy costosos; pero hay que tomar en cuenta que los problemas no se resuelven soslayándolos, sino atacándolos, con decisión y que el que estoy tratando tiende a agudizarse con el tiempo y puede hacerse irresoluble.

Al mencionar la cimentación por pilotes indico que deben ser de concreto o con el último tramo de concreto, como se hizo en el Edificio de "La Nacional" en 1930 porque significa un peligro que las cabezas sobresalgan del agua freática por el descenso del nivel de ésta, pudiéndose conservar indefinidamente debajo del agua.

Consideraré, ahora de las causas de la desecación de la Ciudad solamente las ocasionadas por la disminución de la infiltración y el drenado por la red de saneamiento, pues las otras ya las tomé en cuenta en la tabla anterior.



## DESECACION DE LA CIUDAD

Agente que la provoca.	Remedio posible.
Drenado continuo por la red de Saneamiento.	Tratamiento de las aguas negras y devolución al Valle por medio de cultivos.
Cambio de pavimentos permeables por impermeables.	Construcción de pozos de absorción.
Aumento del área impermeabilizada.	Construcción de pozos de absorción.
Desforestación de las zonas adyacentes.	Mediato.—Reforestación. Inmediato.—Construcción de pequeñas presas de absorción debidamente localizadas.
Desecación de vasos adyacentes.	Devolución del agua de la red de Saneamiento tratada.

Como en el caso anterior menciono estos remedios para que se vea que sí puede haberlos, sin afirmar que sean ni los mejores ni los más fáciles, y que debe estudiarse y atacarse el problema.

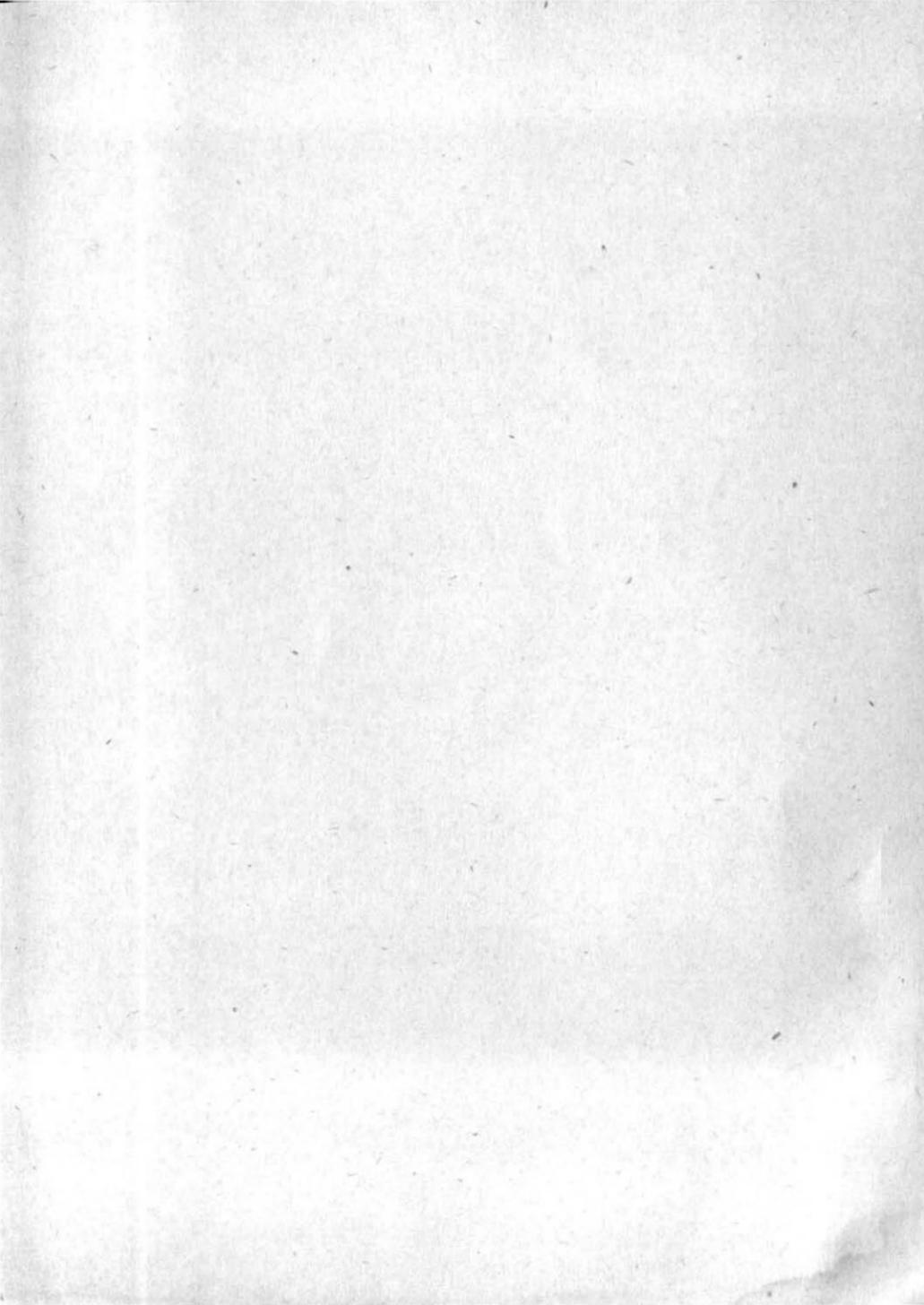
No puede argumentarse que durante el corto tiempo en que durante las lluvias la red de drenaje trabaje a presión, sature el suelo de agua, pues el tiempo de exposición es demasiado corto.

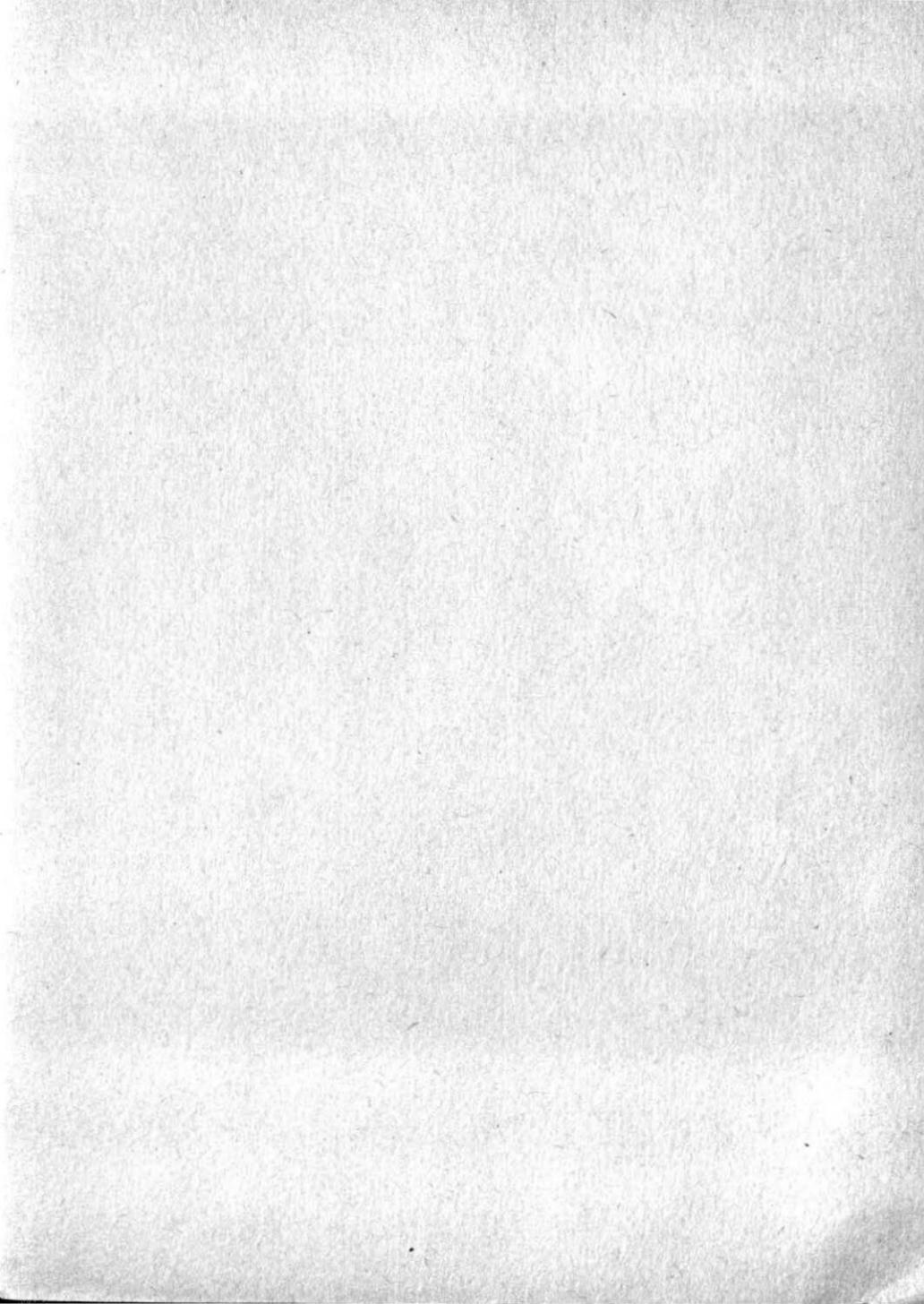
Los cuadros que he analizado pueden servir también para formular el programa de que se habló al principio para hacer estudios, recopilación de datos y experiencias para llegar a la cuantificación de los fenómenos que se han tratado.

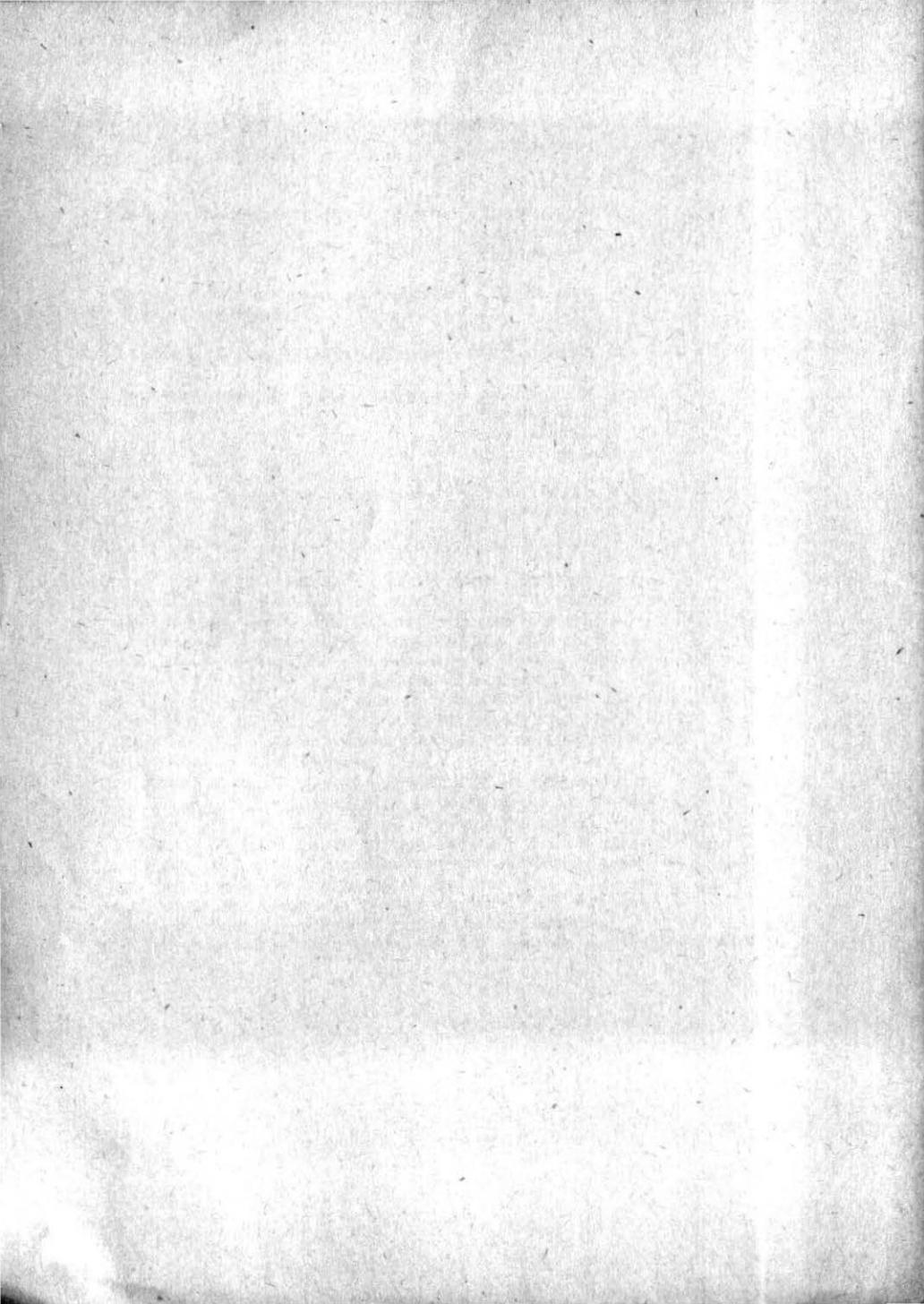
Para finalizar quiero hacer notar a los optimistas que no pueden considerar que sea despreciable un hundimiento de 10 cms. anuales, que a los 5 años se convertirían en 50 cms., pudiéndose llegar a impedir, con el tiempo, la salida de las aguas negras y ocasionando daños a las construcciones existentes, y que es necesario precisar lo que se hunde la ciudad por medio de nivelaciones de precisión. A los pesimistas les diré que no deben alarmarse demasiado por fenómenos que no se han estudiado en toda su amplitud y que tienen remedio.

En conclusión, es urgente estudiar a fondo el problema para poder resolverlo.

México, D. F., a 26 de agosto de 1948.







---

**GRAF. EL BATURRO**  
**B. DOMINGUEZ 18**  
**MEXICO, D. F.**

---