

HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO Y SU RELACION  
CON LOS ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, GEOQUI-  
MICOS, GEOFISICOS Y GEOLOGICOS DE LAS AGUAS DEL  
SUBSUELO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO. \*

RAFAEL MOLINA BERBEYER. \*\*

**CONTENIDO**

- 1.- Hundimiento de la Ciudad de México.**
  - a) Historia.
  - b) Subsuelo del Valle.
  - c) Pérdida de presión de los acuíferos.
  - d) Teoría del hundimiento,
  - f) Efectos del hundimiento en las construcciones.
- 2.-- Estudios efectuados en la Cuenca del Valle de México.**
  - a) Estudios de Mecánica de Suelos,
  - b) Estudios geofísicos (gravimétricos).
  - c) Estudios geoquímicos.
  - d) Estudios geológicos.
- 3-- Abastecimiento de agua potable en la Ciudad de México.**
  - a) Crecimiento de la población e incremento de las ne-
  - b) Fuentes actuales de abastecimiento,  
cesidades de agua.
- 4-- Subcuencas subterráneas útiles de aprovechamiento de agua del subsuelo para abastecer a la Ciudad de México.**
  - a) Subcuencas.
  - b) Subcuenca de Chalco.
  - b) Subcuenca de Chiconautla,
  - c) Ampliación Subcuenca Xochimilco,
- 5.- Otras zonas susceptibles de explotación fuera de la Cuenca del Valle de México.**

---

(\*) Original recibido en enero de 1957,

(\*\*) Geoquímico, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México,

## I N T R O D U C C I O N

El abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México ha sido siempre un problema de vital importancia desde épocas pasadas, siendo de igual gravedad o mayor aún el que se refiere a los trastornos que ha venido sufriendo la estructura del sistema sanitario y de muchos edificios capitalinos de gran costo.

Estas anomalías han sido ocasionadas por el hundimiento del suelo en áreas perfectamente definidas dentro de la Ciudad de México.

El hundimiento fué observado por primera vez por el Ing. Roberto Gayol cuando terminaba la construcción de unas compuertas baja su dirección en el Km. 0 del Gran Canal, las cuales habían sufrido un asentamiento, desplazándose en un extremo de su base, lo que significaba pérdida de estabilidad de la estructura. Y de aquel hecho se le creía responsable; pero él estaba seguro que no dependía del proceso de construcción, Para demostrarlo y salvar su reputación procedió a una nueva nivelación con lo que se pudo notar que las bases de los compuertas en relación con la nivelación inicial habían descendido por hundimiento una cantidad determinada de centímetros. Así. de manera fortuita, quedó descubierto el fenómeno del hundimiento, que por entonces poco podía interesar dado el reducido alcance de sus electos.

En 1935, con motivo de la escasez de agua que ya alarmaba a la Metrópoli, las autoridades correspondientes activaron la perforación de pozos en distintos sitios de la Capital, los que en el lapso de 1935 a 1938 llegaron al número de 200 con una extracción promedio de 40 litros/seg/pozo y un total de 8 m<sup>3</sup>/seg., que más tarde, en 1939, bajó a 7.0 m<sup>3</sup>/seg., Sumado este caudal a la extracción promedio de 2.5 m<sup>3</sup>/seg., correspondiente a más de 3,000 pozos particulares se llegó a un total de 9.5 m<sup>3</sup>/seg., cuyo aprovechamiento ha continuado hasta el presente.

Durante las lluvias de 1945 y 1947 se inundaron varias zonas metropolitanas, lo que causó la zozobra consiguiente, ya que, a la amenaza de la salud siguió el derrumbe de muchas casas de habitación mal construídas, con pérdida de vidas y de bienes. Buscando la causa de aquella calamidad, se llegó a establecer que era debida al hundimiento del suelo, por lo que la Administración del Gobierno Federal, la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México y algunas instituciones particulares se dieron a la tarea de estudiarlo, contándose entre estas últimas, la I. C. A. (Ingenieros Civiles Asociados), y la Comisión Coordinadora para la Investigación Científica (actualmente Instituto Nacional para la Investigación Científica), quienes lo empezaron a estudiar desde el punto de vista de la mecánica de suelos. La I. C. A. trabajó en nivelaciones de la Ciudad e interpretó por medio de cálculos el fenómeno. En la C. I. C. I. C. el Dr. Nabor Carrillo Flores como fruto de sus investigaciones señaló la teoría siguiente para explicarlo: "EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO SE DEBE A LA PERDIDA DE PRESION EN LOS ACUIFEROS DEL SUBSUELO A CAUSA DEL SOBREBOMBEO DE LOS MIS-MOS".

En 1952 el I.N.I.C. inició el estudio geoquímico de las aguas del subsuelo de la Cuenca de México en colaboración con el Instituto de Geofísica y los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial. Como resultado de sus trabajos rindió el informe denominado:

**"Estudios geológicos y geoquímicos de las aguas subterráneas de las subcuencas de Chalco, Texcoco y San Juan Teotihuacán".**

Actualmente el Departamento del Distrito Federal por medio de su Dirección General de Obras Hidráulicas atiende y promueve eficazmente esta clase de estudios, ya que tiene mucho interés en el abastecimiento de agua potable y en la erradicación hasta donde sea humanamente posible, de las causas del hundimiento de nuestra Capital.

## 1.-HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

### a),--H i s t o r i a .

La historia del hundimiento de la Ciudad de México es incompleta debido a que, las nivelaciones efectuados antes de 1948 no se realizaron con el fin de analizar este fenómeno. El Ing. Don Roberto Gayol en el año 1901 presentó un plano levantado en 1891 por la Comisión Hidrológica, con curvas de nivel referidas a la acotación + 10m., posteriormente I. C. A., C. H. C. V. M. y C. I. C. I. C. encontraron información que permitió ligar dicho plano de referencia a un punto fijo en el cerro de Atzacolco (1). Con estos datos se calcularon las correspondientes elevaciones respecto al nivel del mar. En 1952 (2) la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México efectuó una nueva nivelación con la que se pudo determinar el ritmo de hundimiento de una zona amplia de la Ciudad. (véase figura 1; Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XIX, No. 2, 1956) (3).

Es importante notar la irregularidad de los movimientos en la superficie, la existencia de zonas más afectadas por el fenómeno, y de otras como la Plaza de la Constitución que acusan un asentamiento notablemente menor como puede verse en la citada Figura. El valor medio del hundimiento entre 1891 y 1952 en la zona últimamente mencionada, resulta de 4.56 m.

Por medio de las nivelaciones efectuadas por la Comisión Hidrográfica en 1864-1881; las llevadas a cabo por la Dirección de Geografía periódicamente hasta 1937, y las realizadas por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México e "Ingenieros Civiles Asociados" recientemente, se ha po-

- 
- (1) Hundimiento de la Ciudad de México; observaciones y estudios analíticos, por los Ings. Raúl Marsal, Fernando Hiriart y Raúl Sandoval. Ediciones ICA., Serie B No. 3, Sep. 1953.
  - (2) Recopilación de datos del V. de México; Boletín 1 de Mec. de Suelos de la Com. Hidrológ. de la Cuenca del V. de Méx. 1953
  - (3) Breve Descripción del Hundimiento de la Ciudad de México, Raúl J. Marsal e Ignacio Sainz Ortiz. Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XIX No.2, 1956).

---

dido reconstruir la ley aproximada de los hundimientos con relación al tiempo en algunos puntos tales como la Catedral, la Estatua de Carlos IV y, el área de La Alameda véase fig. 6 (3). Debido a lo completo de los registros, son de especial interés para analizar algunos aspectos del fenómeno.

Las nivelaciones que la Comisión Hidrográfica hizo de la Catedral entre 1905 y 1911 demuestran que el hundimiento en ese período se presentaba a razón de 3 cm/año, el cual se acentúa apreciablemente en los últimos años con un promedio de 30 cm/año o mayor para ciertos puntos aislados. Llama la atención que el período 1937/1948, notorio por el brusco descenso de la curva de hundimiento, coincida con el sobrebombeo a que fueron sometidas las aguas del subsuelo dentro del área urbanizada, con los fines de abastecimiento que quedan mencionados.

Aun cuando el hundimiento sigue leyes semejantes en los diferentes barrios sometidos a observación se nota en la Fig. 1 (3) que sus valores difieren notablemente, lo que se supone debido a las variaciones de corte geológico que concuerdan con las variantes físicas del suelo y con el mecanismo que origina el fenómeno del hundimiento.

#### **b).-Subsuelo del Valle.**

La Ciudad de México está asentada en su mayor parte sobre lo que fué el lecho de la Laguna de Tenochtitlán, considerada como parte del Lago de Texcoco. Las exploraciones realizadas por medio de pozos revelan la existencia (4), (5), en el subsuelo de una formación arcillosa extraordinariamente compresible, cuyo origen es la alteración de cenizas volcánicas y sus propiedades mecánicas varían de un punto a otro.

---

(4) 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,

(5) Arcillas del Valle de Méx. Variación de propiedades de suelos. Ediciones ICA. Serie B, No. 9, Junio de 1952.

Los cortes, siguiendo las direcciones N-S y E-W de la Fig. 2 (3) indican aproximadamente la condición geológica del subsuelo. Al W se encuentran depósitos de gran espesor formados de gravas y arenas (Formación Tarango) cubiertos por material limo-arenoso muy compacto llamado vulgarmente tepetate, Los terrenos que se encuentran en la cota 2245 m.s.n.m. o menor, están invadidos por una formación arcillosa cuyo espesor aumenta rápidamente hacia el centro de esta depresión que fué la laguna de Tenochtitlán, habiendo llegado a 30 m. en la parte central de la Ciudad. En recientes sondeos se han alcanzado espesores de 150 m. o más.

Con respecto a la roca basal cuya estructura no está perfectamente definida, se tiene la sospecha de que esté constituida por andesita.

**c).-Pérdida de presión de los acuíferos.**

A fin de conocer la causa primordial del hundimiento, se instalaron más de 60 estaciones piezométricas en diferentes puntos del Valle (6). Con las mediciones de este tipo se construyeron las gráficas de la Fig. 4, (3) relativas a las curvas de igual elevación piezométrica para distintas; profundidades y la configuración del nivel freático con el nivel del terreno, correspondientes a Noviembre de 1952. La comparación de las gráficas muestra que el nivel freático sigue sensiblemente las variaciones topográficas del terreno, con excepción de la región Sur Poniente, en la transición de la Sierra en donde el espejo de agua se encuentra en unos casos a 60 m, y en otros solamente a 3 ó 4 m. bajo la superficie. Las curvas que se refieren a igual elevación piezométrica a 20, 33, 55 y 95 m. de profundidad, revelan una alteración notable en la distribución de presiones del agua, en el caso de que exista un estado de equilibrio, las curvas indicadas en la Fig. 4 (3) deberían

---

(6) Observaciones piezométricas en el subsuelo del Valle de México, Ediciones ICA., Serie B, No.11, Septiembre 1952.

coincidir con las correspondientes al nivel freático que también se indican en dicha figura. Para un determinado punto de la Ciudad, la diferencia entre la elevación del nivel freático y la elevación piezométrica del agua en los mantos localizados en las profundidades citadas según gráficas de la misma figura, corresponden a pérdida de presión expresada en Ton/m<sup>2</sup>,

En esta figura se puede notar que existen zonas que tienen pérdida de presión superior a 30 Ton/m<sup>2</sup>, especialmente al W y en los rellenos profundos. En cambio, las pérdidas de presión en la parte E. de la Ciudad son nulas y existen casos en que la diferencia es negativa, es decir, que en ciertas regiones del Valle los acuíferos son artesianos.

La causa principal de esta alteración de presiones a distintas profundidades, es sin duda el excesivo bombeo que se ha efectuado en el área urbanizada de la Ciudad de México.

#### d).--**Teoría del Hundimiento.**

La teoría de la consolidación que establece la solución matemática del fenómeno del hundimiento, se debe al Dr. Nabor Carrillo quien se basó acertadamente en los principios de mecánica de suelos, aprovechando al mismo tiempo la información existente sobre los mantos acuíferos y el conocimiento estructural del subsuelo de la Ciudad de México. (7) (8).

La teoría del Dr. Carrillo está basada en el siguiente principio:

"Considérese un manto ideal de arcilla suave, confinado entre dos mantos de arena (Fig. I), El nivel freático se supone en la superficie superior del suelo: si el agua tiene la distribución ordinaria de presiones hidrostáticas, el único efecto mecánico del agua en las arcillas es la subpresión. Supóngase

---

(7) Observaciones piezométricas en el subsuelo del Valle de México, Ediciones I. C. A., Serie B, No. 11. Septiembre 1952.

(8) Influencia de los pozos artesianos en el hundimiento de la Ciudad de México. C.I.C.I.C., Anuario 1947.

ahora, (Fig. II), que una disminución rápida de presión (P) se induce en el manto arenoso inferior por ejemplo, a causa de un bombeo. Se originará un flujo de agua hacia abajo en la arcilla ocasionando una distribución final A B D E de presiones en el agua (Fig. II). Sea (P) el asentamiento final producido por el gradiente hidráulico ya uniforme,  $i = \frac{h}{H}$ . El in-

cremento medio en la presión efectiva en la arcilla es:

$$\bar{P} = \frac{P}{2} = \frac{\gamma^w}{2} h \left[ = i \gamma^w \frac{H}{2} \right]$$

También:

$$\frac{P}{H} = \frac{Ae}{1+e} = \frac{\sigma_v \bar{P}}{1+e} = \frac{\gamma^w}{2(1+e)} \sigma_v + h$$

en la cual (e) es la relación de vacíos y ( $\sigma_v$ ) es la compresibilidad de la arcilla

(e) y ( $\sigma_v$ ) se suponen constantes con la profundidad. Así:

$$P = \frac{\gamma^w \sigma_v}{2(1+e)} hH \dots (1)$$

dá el valor del asentamiento final.

Es interesante observar que si las "constantes" del suelo no se alteran, para una caída h dada en la carga hidrostática, el asentamiento será proporcional a la profundidad H.

Analicemos ahora el proceso de consolidación.

En un instante dado t, el grado de consolidación (Fig. III), donde P es el promedio del exceso de presión en el instante t y  $P_t$  es el correspondiente asentamiento.

De la técnica de consolidación de Terzaghi,

$$t_{50} = \frac{H^2}{20 C_v}$$

$t_{50}$  siendo el tiempo necesario para el 50% de consolidación y  $C_v$  el coeficiente de consolidación,

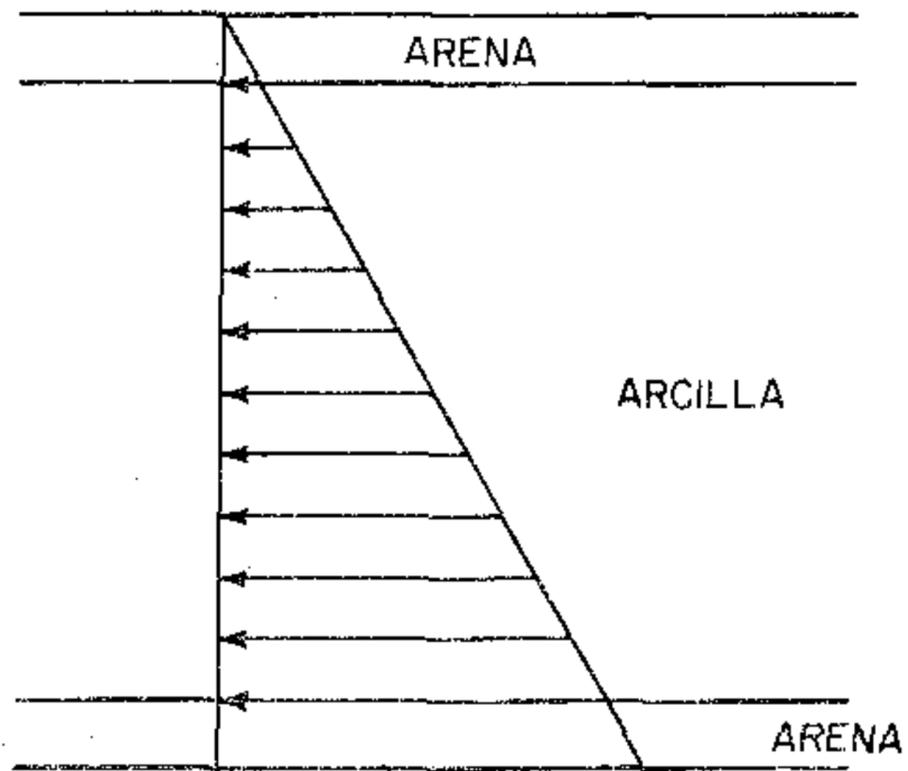


FIG. I

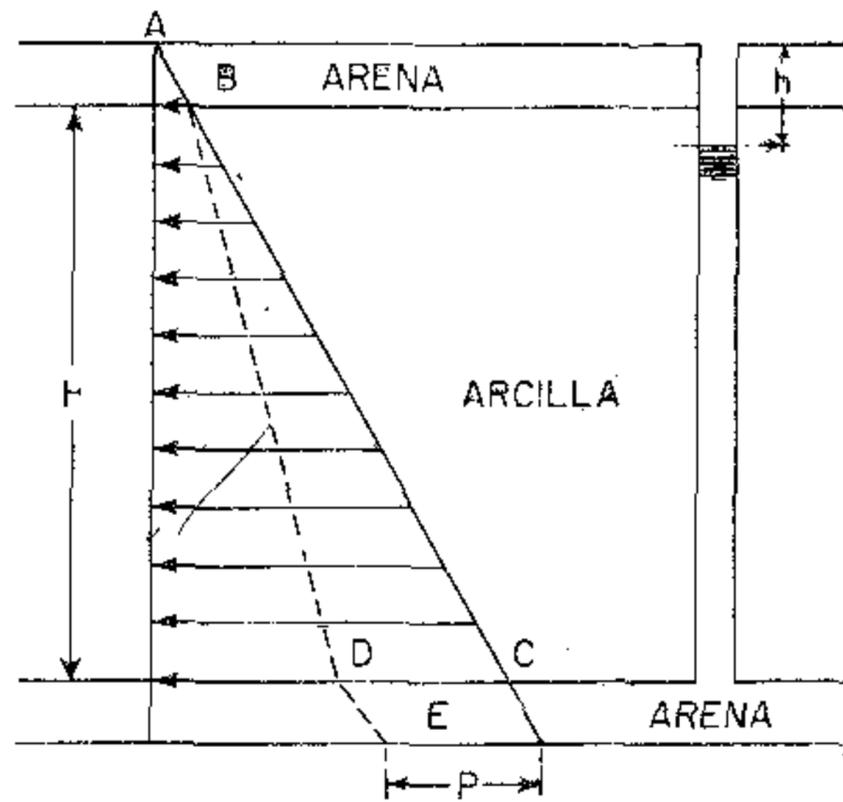


FIG. II

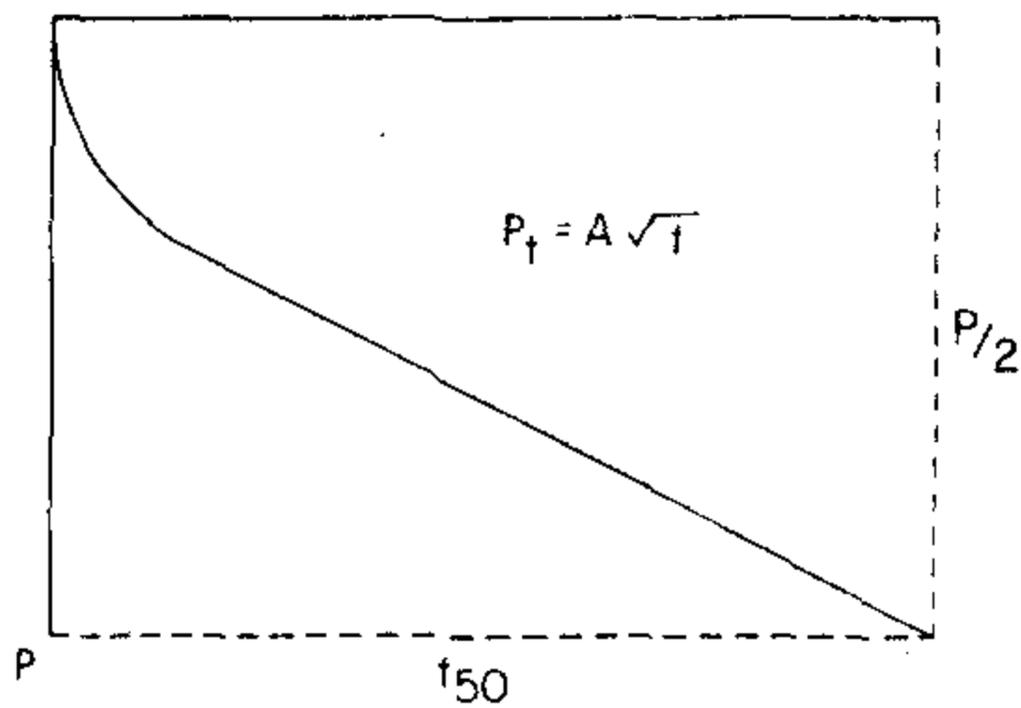
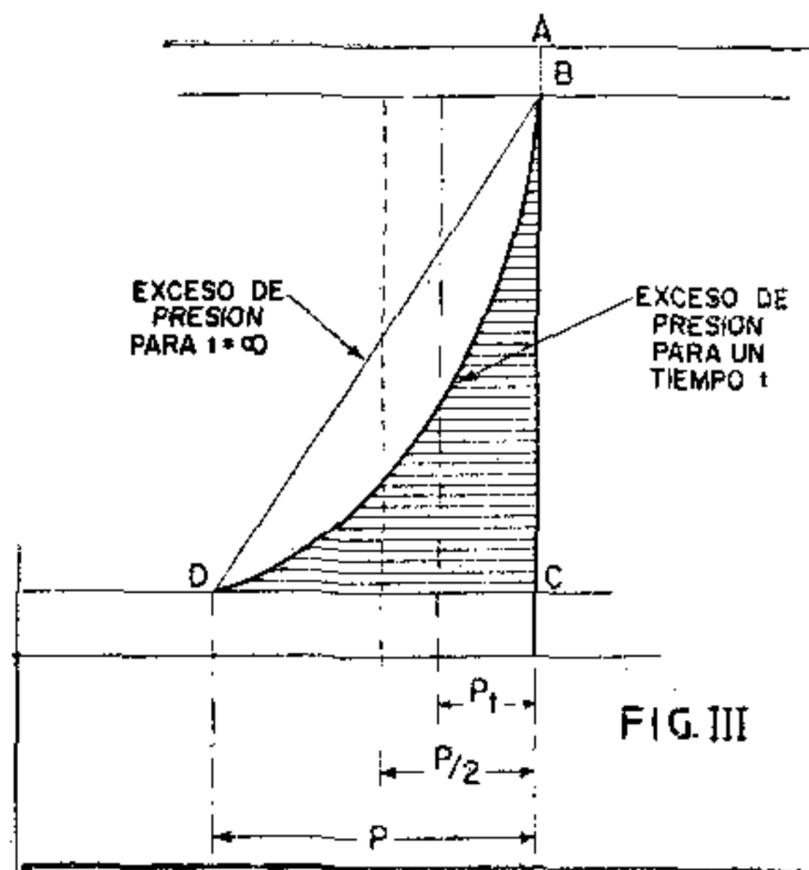


FIG. IV

$$C_v = \frac{K(1+e)}{\alpha_v W}$$

siendo K coeficiente de permeabilidad.

Para el 50% de consolidación (Fig. IV) aproximadamente.

$$P = \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{Kh}{\sqrt{C_v}} \sqrt{t} \dots (2)$$

$$d_{P_t} = \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{K}{\sqrt{C_v}} dh \sqrt{t}$$

Suponiendo una disminución uniforme h en la presión:

$$h = Bt \text{ (B, constante)}$$

obtenemos por integración:

$$P_t = \frac{\sqrt{5}}{3} \frac{BK}{\sqrt{C_v}} t \sqrt{t} \dots (3)$$

Es interesante notar en 3. que el primer 50% de consolidación, que es el valor de importancia práctica, es independiente de la profundidad H.

También, para una disminución uniforme de presión hidrostática en el manto acuífero, el asentamiento del suelo es celerado.

Considérese ahora el caso de m mantos acuíferos, cada uno de los cuales está confinado en ambos lados por idéntica arcilla compresible, y todos reducen su presión hidrostática simultáneamente. El asentamiento total en el instante t es:

$$P_t = \frac{2\sqrt{5}}{3\sqrt{C_v}} Kt \sqrt{t} (B_1 + B_2 + \dots + B_m)$$

donde.  $B_1, B_2 \dots B_m$  son las respectivas disminuciones de presión por unidad de tiempo en los mantos acuíferos.

Para el caso simple en el que  $B_1 = B_2 = \dots B_m$

$$P_t = \frac{2\sqrt{5}}{3\sqrt{C_v}} mKB t \sqrt{t}$$

**e).-Graficas del Hundimiento.**

De acuerdo con la teoría anteriormente citada se calculó y dibujó la Fig. 1 (3) en la cual se puede notar que hay zonas en la Ciudad que descienden a razón de 1 mm, al día.

Las consecuencias serias de esta situación son como sigue:

El drenaje de la Ciudad en ciertos lugares está perdiendo eficiencia progresivamente, véase Fig. 8 (3). En ésta se puede ver cómo se ha verificado el asentamiento del drenaje de la Ciudad de México desde los años 1901 a 1952 en que se hicieron los últimos registros de nivelación.

**f).-Efecto del hundimiento en las construcciones.**

Así mismo, se ha notado una marcada influencia del hundimiento en las construcciones con distintos sistemas de alimentación, lo cual ha provocado discusiones, unas veces acertadas y otras infructuosas y más bien desorientadoras. Lo más práctico y real han sido las conclusiones obtenidas por medio del cálculo y razonamiento basados en la teoría de la consolidación antes expuesta.

Los edificios que están cimentados a base de pilotes, o sean edificios piloteados, sufren un fenómeno de hundimiento relativo con respecto al hundimiento del suelo que les rodea,

En cambio, hay edificios que por no tener cimentación de pilotes seguirán una ley de hundimiento semejante a la que rige el hundimiento del suelo. En estas edificaciones existe una serie de fenómenos que es difícil definir con precisión algunas veces, debido todo, a que, las condiciones del subsuelo en una área determinado no son siempre homogéneas y por

consiguiente tampoco lo son las propiedades físicas y mecánicas de sus materiales.

Dentro de la Ingeniería Civil y en la construcción de edificios aquí en México se ha contado con la valiosa aportación de la Mecánica de Suelos para la solución de los problemas precitados.

Pero en general, el hundimiento de la Ciudad de México continuará a mayor o menor ritmo de aceleración de acuerdo con los caudales de agua que se extraigan del subsuelo.

## 2.--ESTUDIOS EFECTUADOS EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.

Desde 1945 se iniciaron los estudios relativos al hundimiento del suelo que nos ocupa por parte principalmente de instituciones particulares. Ultimamente, el Lic. Ernesto P. Uruchurtu, Jefe del Departamento del Distrito Federal, con la colaboración de una de sus dependencias, la Dirección General de Obras Hidráulicas a cargo del Ing. Fernando Hiriart B., los ha intensificado decididamente como no podía ser de otra manera, dada la trascendencia que tienen, elaborando un plan general de trabajo para los referidos fines.

Los estudios efectuados tienen el siguiente orden cronológico:

### a).-**Mecánica de Suelos**

En 1925 el Ing. Roberto Gayol dió a conocer sus primeras investigaciones sobre el problema del hundimiento del suelo, contenidas en la siguiente publicación:

"Estudio de las perturbaciones que en el fondo del Valle de México ha producido el drenaje de las aguas del subsuelo por las obras del Desagüe, y rectificación de los errores a que ha dado lugar una incorrecta interpretación de los hechos observados" (Ing. Roberto Gayol. Revista Mexicana de Ingenieros y Arquitectos, Vol. III, No. 2, 1925),

El Ing. José A. Cuevas en los años 1940-1945 inició los estudios de Mecánica de suelos para establecer las reglas que de-

ben seguirse en la cimentación de un edificio; por tal motivo, a él se le debe considerar como un precursor de esta nueva ciencia aplicada a los problemas de Ingeniería Civil.

En 1947, el Dr. Nabor Carrillo Flores, en aquel entonces investigador científico en la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, tuvo a su cargo todo lo referente a los estudios sobre el hundimiento de la Ciudad de México, y con mente clara y precisa organizó un cuerpo de técnicos en Mecánica de Suelos y de otras ciencias afines en la siguiente forma:

Para el estudio de mecánica de suelos:

Fernando Hiriart B.	I. C.
Raúl L. Marsal	I. C.
Raúl Sandoval L.	I. C.
Ignacio Sáinz Ortiz	I. C.

Para el estudio gravimétrico:

Guillermo Hernández Moedano, Geofísico

Para el estudio geoquímico:

Rafael Molina Berbeyer, Geoquímico

Cada grupo trabajó independientemente, por ejemplo: los estudios de mecánica de suelos se efectuaron en los laboratorios de la I.C.A.; los geofísicos quedaron a cargo de una compañía particular y fueron costeados por la C.I.C.I.C. con la colaboración económica de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México; y los estudios geoquímicos de los aguas subterráneas de la Cuenca del Valle de México fueron efectuados en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial en cooperación con el Instituto de Geofísica y la Comisión Impulsora y Coordinadora para la Investigación Científica.

Los estudios efectuados por el Dr. Nabor Carrillo fueron la base teórica para la solución del problema del hundimiento del suelo, estos se presentan en dos trabajos:

Influencia de los pozos artesianos en el hundimiento de la Ciudad de México. Dr. Nabor Carrillo, Anuario de la Comi-

sión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica. 1947.

Mecanismo Productor de grietas en el subsuelo del Valle de México, Dr. Nabor Carrillo. Congreso Científico Mexicano de la U.N.A.M., 1951.

En 1948, los ingenieros Raúl J. Marsal, Fernando Hiriart y Raúl Sandoval L continuaron los trabajos de Mecánica de Suelos en el laboratorio de la I.C.A., habiéndose publicado los siguientes estudios:

- 1.--Arcillas del Valle de México, Contribución al estudio de procedimientos de réplicas. Roberto Mercado F., Ediciones I.C.A., Serie B, No. 4, Octubre 1951.
- 2.-Observaciones piezométricas en el subsuelo del Valle de México. Laboratorio de Mecánica de Suelos de I.C.A. Ediciones I.C.A., Serie B, No. 9, Junio 1952.
- 3.-Curvas de regresión estadística en las arenas del Valle de México, Raúl J. Marsal y Marcos Mazarí, Ediciones I.C.A., Serie B, No. 12, Octubre 1952.
- 4.-Hundimiento de la Ciudad de México. Observaciones y estudios analíticos. Raúl J. Marsal, Fernando Hiriart y Raúl Sandoval L., Ediciones I.C.A., Serie B, No. 3, Agosto 1952.

La Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México desde el año 1950 está efectuando trabajos de nivelación en la Ciudad de México y toma medidas piezométricas por medio de pozos especiales en los que hay piezómetros instalados a distinta profundidad. Con estas medidas el Ing, Ignacio Sáinz Ortiz construyó las curvas de igual presión a distintas profundidades y confirma la teoría de pérdida de presiones en los acuíferos subterráneos y así mismo, relaciona esta pérdida de presiones con la ley matemática que sigue el hundimiento de la Ciudad, véase fig. 6 (3). Los datos obtenidos se hallan en la siguiente publicación:

Boletín, Mecánica de Suelos, No. 1. Recopilación de datos del Valle de México (hasta el año 1953). Ing. Ignacio Sáinz

Ortiz. Comisión Hidrológica de la Cuenca el Valle de México, Junio 1953.

**b).--Estudios geofísicos (gravimétricos).**

En los años 1950-51 el Instituto Nacional de la Investigación Científica encargó al Ing. Guillermo Hernández Moedano que hiciera los estudios gravimétricos del Valle de México, con el único fin de saber cual es la roca que se encuentra en el fondo de esta Cuenca.

El Ing. Hernández Moedano supone que la roca basal es ANDESITA y se localiza entre los 1,000 m. bajo la superficie en promedio; su topografía es irregular, quedando la Ciudad de México localizada en una de las depresiones subterráneas que forman el fondo rocoso del Valle, Véase fig. 3 (3).

**c).--Estudios geoquímicos.**

Independientemente el Instituto de Geofísica en cooperación con los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial y con la ayuda económica de la C.I.C.I.C., empezó los estudios geoquímicos de las aguas subterráneas de la Cuenca del Valle de México.

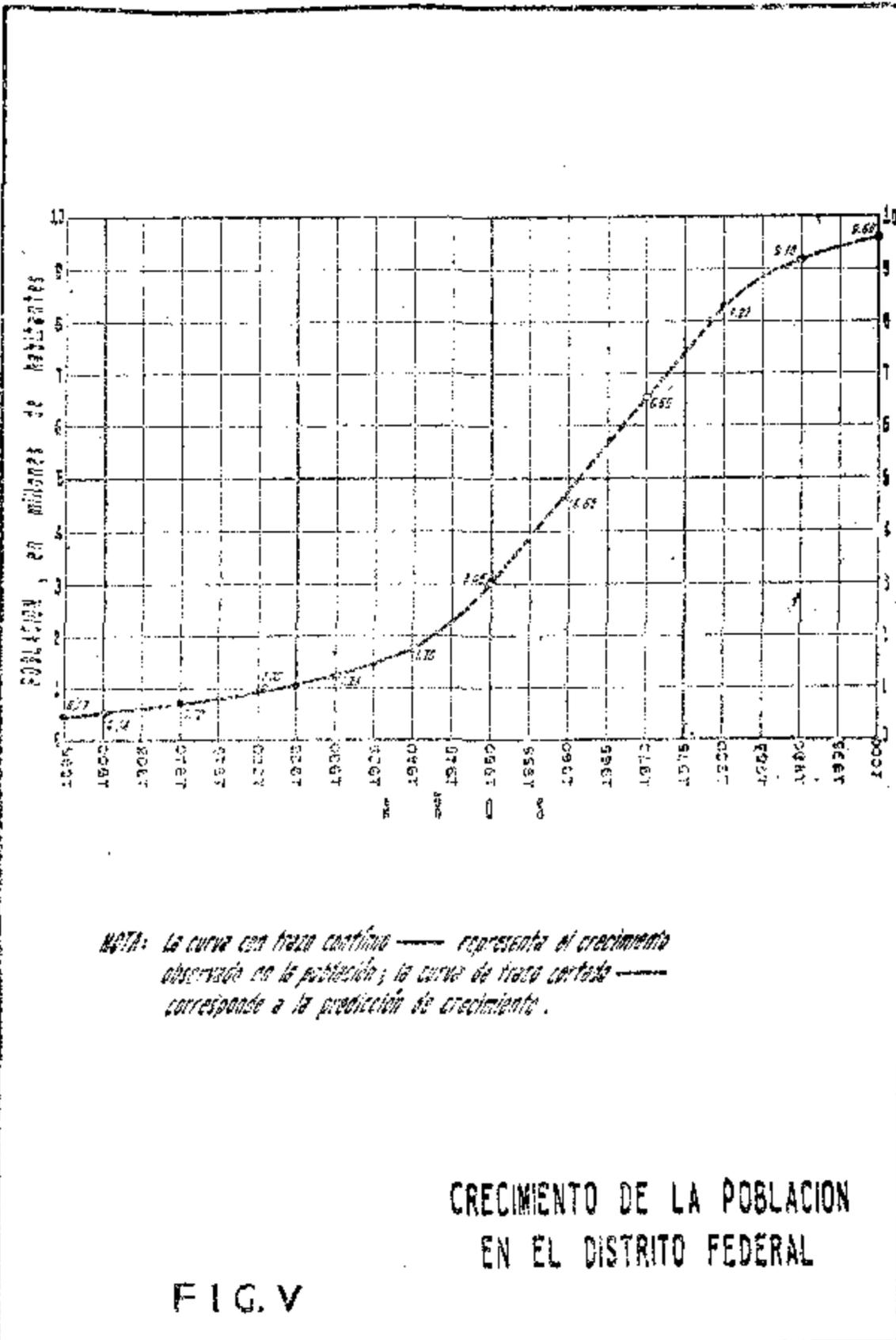
El estudio geoquímico fué orientado para saber si los acuíferos eran independientes unos de otros como consecuencia de la existencia de subcuencas.

En la secuencia de estos estudios quedó confirmada la independencia de las subcuencas. De manera que, la subcuenca de la Ciudad de México es independiente de las de Texcoco, Xotepingo, Xochimilco, Ixtapalapa, Los Reyes y Chalco,

Ultimamente ha sido confirmada la independencia de la subcuenca de Santa Lucía (Chiconautla), de la de San Juan Teotihuacán y de la de Texcoco por el Norte.

Los estudios geoquímicos fueron realizados de 1949 a 1952, por el Geoquímico Rafael Molina Berbeyer.

Estudios geoquímicos últimamente han sido usados para establecer zonas nuevas de explotación de aguas subterráneas



que no afecten a la Ciudad de México. Fueron realizados en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial y se titulan:

- 1.-Estudio Geológico y Geoquímico de las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco y México (iFgs. VII, VIII, IX X, XI.
- 2,-Estudio Geológico y Geoquímico de las aguas subterráneas de la subcuenca de Texcoco, Méx, (Figs. VII, VIII, IX, X, XI.
- 3.--Estudio Geológico y Geoquímico de las aguas subterráneas de la subcuenca de San Teotihuacán, Méx., (Figs. VII, VIII, IX, X. XL

**d).--Estudios geológicos**

Los estudios geológicos realizados por el Ing, Ezequiel Ordóñez, estaban principalmente relacionados con la geología general del Valle.

Posteriormente se hicieron estudios estratigráficos por el Ing. A R. V. Arellano, Dr. Kirk Brycm, Dr Helmut de Terra, y a últimas fechas, el geólogo Federico Mooser ha hecho el estudio de geología general y tectónica de la Cuenca del Valle de México que presentó durante el XX Congreso Geológico Internacional celebrado recientemente en esta Capital.

**3).-ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE MEXICO.**

**a).--Incremento de la población e incremento de la necesidad de agua.**

La Fig. V fué calculada para saber estadísticamente cuál sería el incremento de la población a partir de 1950 hasta el año 2000, suponiendo que en este último llegara a su límite máximo, (Fig, VI).

Como se ve en las figuras precedentes, la demanda de agua es enorme, y si para satisfacerla hubiera de seguirse sobre-explotando los acuíferos subyacentes de nuestra Capital.

ésta seguiría condenada a un hundimiento cuyo ritmo de aceleración siempre será proporcionalmente directo a los volúmenes de agua: que se extraigan, como se representa en la figura 6 (3).

Por tal motivo es necesario buscar otras fuentes dentro ó fuera del Valle para abastecerlo, tarea nada fácil ya que el costo de las obras se calcula en miles de millones de pesos.

Afortunadamente se han encontrado dentro del Valle, subcuencas subterráneas que son independientes de la subcuenca de la Ciudad de México, las cuales, de ser aprovechadas, harán que el costo de las obras baje a unos cuantos millones de pesos.

b).-FUENTES ACTUALES DE ABASTECIMIENTO.

Las fuentes actuales de abastecimiento son:

POZOS OFICIALES	6.9 m <sup>3</sup>
POZOS PARTICULARES	2.5 "
XOCHIMILCO	1.5 "
DESIERTO Y AJUSCO	0.3 "
LERMA	3.8 "

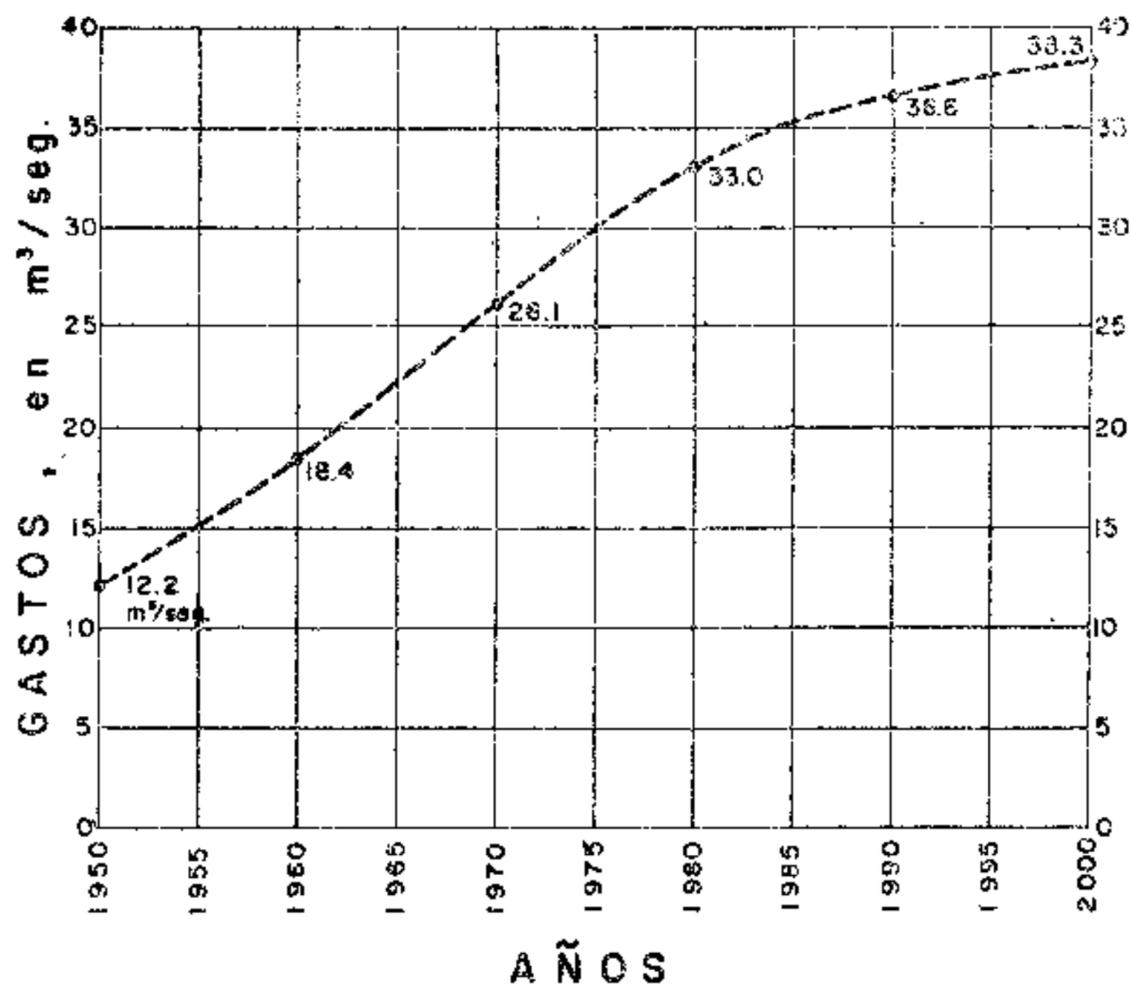
---

**TOTAL:** 150 m<sup>3</sup>/seg

Con los datos anteriores se establece que el consumo por habitante es de 308 litros/día para el presente año de 1956.

De acuerdo con los cálculos de población que en 1960, (Fig. V), será de 4.6 millones de habitantes se necesitarán 18.4 m<sup>3</sup>/s., es decir, se necesitaría un aumento de 3.4 m<sup>3</sup>/seg para subsanar las necesidades de esta Capital, (Fig. VI).

Y así, sucesivamente, conforme vaya aumentando la población, irá aumentando el caudal necesario. Como ejemplo final tendremos que, para el año 2000 (año límite probable de saturación de habitantes en la Ciudad de México), la población será de 9.6 millones de habitantes, siendo necesaria para entonces un caudal de 38.3 m<sup>3</sup>/seg o sean 23.3 m<sup>3</sup>/s. más de lo que se tiene actualmente.



NECESIDADES DE AGUA POTABLE  
EN EL DISTRITO FEDERAL

FIG.VI

Por lo anterior, y considerando el enorme caudal que será indispensable en el futuro, se han hecho investigaciones geofísicas, piezométricas subterráneas dentro de la llamada Cuenca del Valle de México.

Los estudios geofísicos (Gravimetría), indican que en la Cuenca del Valle de México existen subcuencas subterráneas, lo que ha sido confirmado por medio de los estudios piezométricos que también indican Zonas en que existe diferente presión en los acuíferos como consecuencia de la existencia de subcuencas subterráneas independientes.

Los estudios geoquímicos han revelado que en la Cuenca del Valle de México existen aguas subterráneas de diferente composición química, lo que significa que siendo independientes unas de otras, constituyen provincias geoquímicas que definen subcuencas subterráneas.

En los últimos estudios tectónicos del Geólogo Federico Mooser, se supone que en la Cuenca del Valle de México existen dos valles primarios sepultados y se indica la edad geológica probable de los mismos. Dichas deducciones se derivaron del estudio geológico superficial y del mapeo en la carta geográfica de la Cuenca, de los distintos materiales de origen ígneo. Así mismo se incluye en los referidos estudios la suposición de que los volcanes del Mioceno formaron una orogenia que determinó la existencia de aquellos Valles los cuales que daron definidos con más precisión cuando los volcanes pliocénicos formaron otra orogenia. Por fin se llega a la orogenia actual que se debe al vulcanismo del Pleistoceno

Los estudios piezométricas también ha indicado que en la Cuenca que nos ocupa existen áreas cuyo nivel piezométrico es distinto; por ejemplo, los niveles piezométricos en la Ciudad de México indican pérdidas de presión hasta de 15 m; pero en cambio, en la parte Noreste del vaso del Lago de Texcoco, los niveles piezométricos son positivos, lo que indica que allí existe artesianismo brotante que actualmente no se ve en la Capital.

Con los datos precedentes se confirma que en la Cuenca del Valle de México existen subcuencas subterráneas independientes cuyas aguas pueden ser explotadas para el abastecimiento de nuestra Metrópoli. Actualmente el llamado Sistema de Lerma que capta 3.8 m<sup>3</sup>/s., es la única fuente exterior de la Cuenca del Valle, para tal fin.

#### 4.--SUBCUENCAS SUBTERRANEAS APROVECHABLES PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA CIUDAD DE MEXICO

##### a).--Subcuencas.

De acuerdo con los estudios geoquímicos, geofísicos (gravimétricos) y piezométricos; se ha llegado a confirmar la existencia de subcuencas subterráneas que pueden explotarse para el abastecimiento mencionado sin agravar el problema del hundimiento.

Las subcuencas determinadas geoquímicamente son:

4-1,	Subcuenca	CIUDAD DE MEXICO
4-2,	"	VASO LAGO DE TEXCOCO
4-3,	"	TEXCOCO
4-4,	"	XOTEPINGO
4-5,	"	XOCHIMILCO
4-6,	"	CHALCO
4-7,	"	CHICONAUTLA
4-8,	"	SAN JUAN TEOTIHUACAN

Quedan por definir geoquímicamente las siguientes subcuencas:

4-9,	Subcuenca	CUAUTITLAN
4-10,	"	ZUMPANGO
4-11,	"	SANTA LUCIA
4-12,	,	APAM

Las subcuencas subterráneas útiles que forman una área aprovechable para la extracción de agua del subsuelo por medio de bombeo, son:

b).- Subcuenca de Chalco.

Esta subcuenca reúne las condiciones adecuadas para ser explotada ya que sus aguas por la composición química que tienen, pueden aprovecharse para usos domésticos.

En ella existen dos entidades hidrológicas, una en la parte Norte, constituida principalmente por aguas de infiltración de lluvias ligeramente mezcladas con aguas de origen magmática y la otra en la parte Sur, formada en su mayor extensión por los deshielos. Hacia el centro de esta subcuenca se halla la parte lacustre que contiene turbas a distinta profundidad que comunican a las aguas del subsuelo características químicas que las hace impropias para el uso doméstico. En esta área abunda el gas metano, Por tal motivo, la explotación de esta subcuenca debe hacerse con las precauciones necesarias y puede decirse que por su cercanía a la Capital saldría relativamente barata, calculándose en 20 millones de pesos por  $m^3/seg.$ , y como de ella es probable una extracción de  $3 m^3/seg.$ , el costo total aproximado sería de 60 a 80 millones de pesos.

c).-Subcuenca de Chiconautla.

Las aguas subterráneas de esta Subcuenca son potables desde el punto de vista químico, y geoquímicamente difieren de las que existen en la parte noreste de la Subcuenca del Vaso de Texcoco.

De las investigaciones allí realizadas se desprende que en el sureste hay artesianismo brotante y en el noroeste, artesianismo ascendente, siendo las aguas de un y otra parte, geoquímicamente distintas.

El Departamento del Distrito Federal ha emprendido las obras de explotación y conducción de sus aguas para abastecer a la Ciudad de México, y se calcula que el costo de las mismas con un caudal de  $3 m^3/seg.$ , llegará a 80 millones de pesos.

**d).-Ampliación Subcuenca Xochimilco.**

Con esta ampliación se pretende extraer de la subcuenca de Xochimilco 1 m<sup>3</sup>/seg. más, lo que resulta factible ya que no está sobreexplotada.

**5 -OTRAS ZONAS SUSCEPTIBLES DE EXPLOTACION FUERA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.**

Además de las subcuencas mencionadas que se hallan dentro de la Cuenca del Valle de México y que son susceptibles de explotación, existen otras fuera de ella que ya están incluidas en el Plan General de Trabajo del Departamento del Distrito Federal, en las que se proyectan dos obras de indiscutible importancia para dar un paso en firme más hacia la resolución de dos problemas capitales, el del abastecimiento de agua combatiendo al mismo tiempo las causas del hundimiento. Ellas son: la AMPLIACION LERMA y el ALTO AMA-CUZAC.

RAFAEL MOLINA BERBEYER





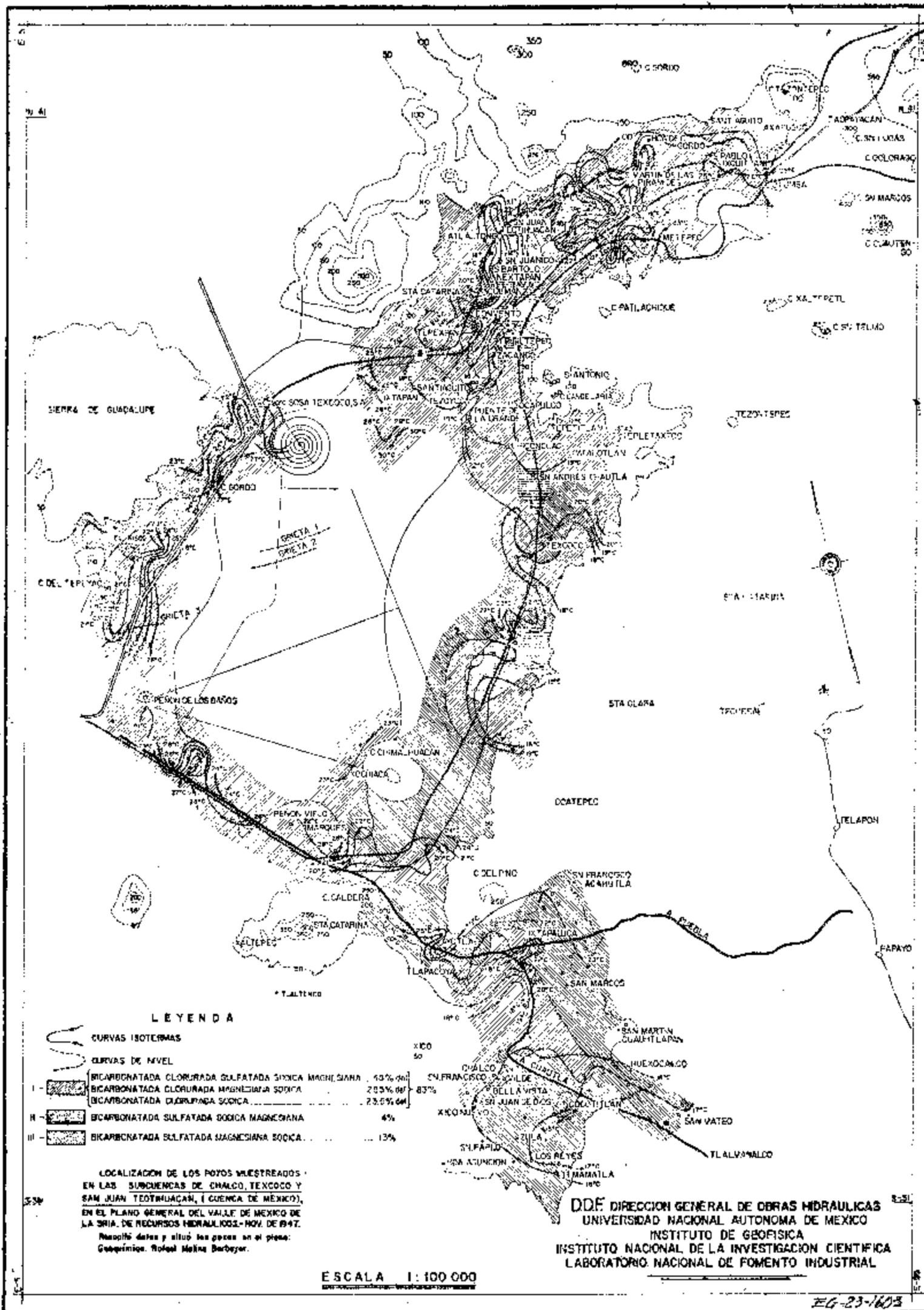


FIGURA IX



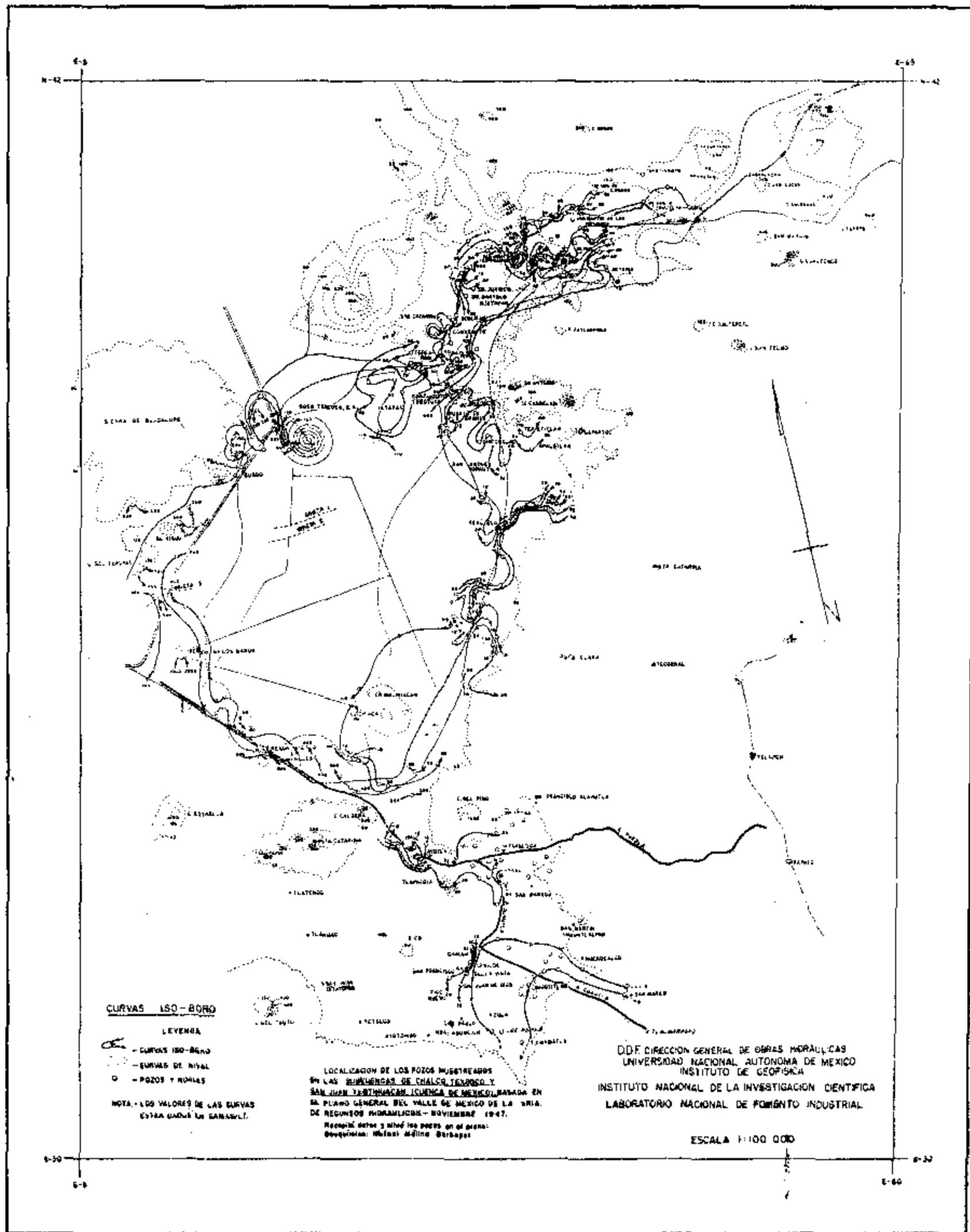


FIGURA XI

EG-28-1634