

01179
2ej.
5

ESTUDIO SIGMOLOGICO DE REFLEXION DEL
SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Tesis que presenta:

GUILLERMO ALEJANDRO PEREZ CRUZ

Para obtener el grado de Maestro en Ingenieria (Exploración)

Créditos asignados a la tesis: 12 (doce)

APROBADO POR EL JURADO:

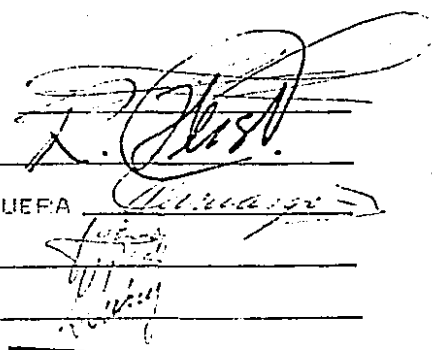
PRESIDENTE: M. EN C. JUAN M. BRANDI PURATA

VOCAL : ING. ROBERTO FLORES LOPEZ

SECRETARIO: M. EN C. ANTONIO CAMARGO ZANOGUEERA

SUPLENTE : M. EN C. SERGIO CHAVEZ PEREZ

SUPLENTE : DR. GERARDO SUAREZ REYNOSO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

Se presenta un modelo geológico del subsuelo de la Ciudad de México en términos de su constitución litológica, estratigrafía y estructura. El modelo se basa en la interpretación de datos aportados por un levantamiento sísmológico de reflexión y la perforación de pozos profundos de sondeo estratigráfico en la Ciudad de México. El modelo propone la división de las rocas del subsuelo, de acuerdo con sus características litológicas y geocronológicas, en cuatro unidades estratigráficas principales que son: Unidad de Arcillas Lacustres del Cuaternario, Unidad Volcánica Superior del Plio-Cuaternario, Unidad Volcánica Inferior del Oligoceno Medio-Mioceno Superior y Unidad de Calizas del Cretácico. Se propone, adicionalmente, mediante la interpretación sísmoestratigráfica, la subdivisión de la Unidad Volcánica Superior en cinco secuencias estratigráficas. Su distribución, espesor, fuente de suministro, relieve y estructura fueron investigados, identificando en el subsuelo zonas afectadas por altos, bajos, fallas, fuertes pendientes y mayor o menor espesor. Dentro de la estructura cretácica, el Alto Michaca por su orientación, constituye un gigantesco bloque contra el que las ondas sísmicas generadas por terremotos con dirección de propagación dominante oeste-este pueden sufrir fenómenos de reflexión, refracción y difracción hacia la superficie que podrían contribuir a la amplificación y duración de los movimientos del suelo de la Ciudad de México. Las zonas de mayor espesor de la Secuencia Lacustre, tradicionalmente consideradas como zonas de alto riesgo sísmico fueron localizadas en el centro de la Ciudad, al sur del aeropuerto, en la región del Lago de Texcoco y en la región del antiguo Lago de Chalco-Xochimilco. Las zonas de inestabilidad de los materiales que la constituyen fueron localizadas en los flancos de altos preexistentes asociados con fallas normales de salto variable entre 30 y 60 m. La información aportada por este trabajo al ser integrada con los resultados de los estudios geofísicos y sísmicos de refracción, así como con datos geotécnicos y de sismicidad, podrá ser usada en la correcta evaluación del riesgo sísmico y adecuación de reglamentos de construcción de la Ciudad de México.

C O N T E N I D O

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	1
CONTENIDO	ii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	3
ANTECEDENTES GEOLOGICOS	3
ANTECEDENTES GEOFISICOS	9
CAPITULO II: ANALISIS DE LA INFORMACION	
LEVANTAMIENTO SISMOLOGICO DE REFLEXION	14
Equipo	14
Parámetros	16
Análisis de Sismogramas de Campo	16
Procesamiento de Datos	18
Secciones Sísmicas Resultantes	20
SONDOS ESTRATIGRAFICOS	23
Correlación	26
CAPITULO III: INTERPRETACION SISMOLOGICA	28
ANALISIS DE SECUENCIAS SISMICAS	29
ANALISIS DE FACIES SISMICAS E INTEGRACION DE DATOS	30
Secuencia VII	33
Secuencia VI	38
Secuencia V	39
Secuencia IV	41
Secuencia III	45
Secuencia II	49
Secuencia I	52
Secuencia Lacustre	55

	<u>Pág.</u>
CAPITULO IV: RESULTADOS	58
CONSTITUCION Y DISTRIBUCIONA DE LAS ROCAS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO	58
FUENTE DE SUMINISTRO	61
FACIES SISMICAS	61
VELOCIDAD Y DENSIDAD	65
ESTRUCTURA Y RELIEVE	65
Altoe	70
Depresiones	70
Fallas	70
CAPITULO V: CONCLUSIONES	73
APENDICE	76
BIBLIOGRAFIA	80

INTRODUCCIÓN

Una de las regiones más densamente pobladas del mundo es, hoy en día, la Ciudad de México. Las construcciones edificadas para satisfacer las necesidades de su población han estado sujetas a normas y reglamentos de construcción que han pretendido garantizar seguridad a sus usuarios. Uno de los factores que forman parte esencial de los reglamentos de construcción en la Ciudad de México es el riesgo sísmico. Tradicionalmente, éste ha tomado en cuenta, entre otros aspectos, la constitución del suelo y subsuelo inmediato a las construcciones a través del estudio de los materiales atravesados por pozos con objetivos geotécnicos y geohidrológicos. De esta manera, se han identificado en la Ciudad las conocidas Zona de Lomas, Zona Transicional y Zona de Lago (Marsal y Mazari, 1959), cada una de ellas con respuesta distinta a movimientos producidos por sismos naturales.

Los daños causados en la Ciudad de México a edificios y otras obras de ingeniería civil, por los sismos de septiembre de 1985, han sido explicados como debidos a fallas de cimentación (Resendiz, 1986) y a fallas estructurales (Melli, 1986), ocasionadas por duración y amplitud anómalas de los movimientos del suelo (Beck y Hall, 1986); factores que a su vez, son atribuidos a: fenómenos de resonancia en las arcillas lacustres (Beck y Hall, 1986) y a eventos múltiples en la fuente (Eissler et al, 1986; Houston y Kanamori, 1986). Factores adicionales pueden ser la constitución y estructura del subsuelo profundo de la Ciudad de México.

Con la intención de conocer estos últimos y así cuantificar su contribución a los movimientos del suelo de la Ciudad durante la ocurrencia de sismos naturales, entre los años de 1986 y 1987, fueron llevados a cabo diversos estudios geológicos y geofísicos a cargo de la Comisión Federal de Electricidad y de Petróleos Mexicanos. Los estudios consistieron en la perforación de cuatro pozos de sondeo estratigráfico, un levantamiento geoelectrico de resistividad y levantamientos sismológicos, tanto de refracción como de reflexión.

En este trabajo se propone un modelo geológico del subsuelo de la Ciudad de México en términos de estratigrafía y estructura, basado en la interpretación de la información sísmica y de pozos obtenida por Petróleos Mexicanos; se presentan algunas de las hipótesis ya conocidas sobre la constitución, estructura y origen del subsuelo de la Ciudad de México, tanto dentro de un marco local como dentro de uno regional. Empleando los datos geocronológicos y litológicos de las rocas del subsuelo se propone su división en cuatro unidades estratigráficas: Unidad de Arcillas Lacustres, Unidad Volcánica Superior, Unidad Volcánica Inferior y Unidad de Calizas del Cretácico. Mediante la interpretación sísmica las unidades volcánicas se dividen a su vez en seis secuencias estratigráficas, estableciéndose su distribución, fuente de suministro, estructura y relieve. Finalmente, son señalados los lugares afectados por bajos, mayor espesor de arcillas lacustres y fallas, en donde el riesgo sísmico puede ser mayor.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

La región estudiada se localiza en la parte occidental de la llamada Cuenca de México, entre los paralelos 19°15' y 19°35' de latitud Norte y los meridianos 98°55' y 99°15' de longitud Oeste, comprendiendo la Ciudad de México y su zona conurbada (Figura 1). Al Norte tiene como límite la Sierra de Guadalupe, al Oriente las estribaciones de la Sierra de Río Frio, al sur la Sierra de Chichinautzin y al Poniente las estribaciones de las Sierras de Las Cruces y de Monte Alto.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS

La región estudiada forma parte de la provincia geológica del Eje Neovolcánico la cual contiene una secuencia de rocas volcánicas calci-alcalinas del Plio-Cuaternario que descansan en forma discordante sobre otra secuencia de rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno.

La secuencia de rocas del Plio-Pleistoceno forma una franja de aproximadamente 50 a 150 Km de ancho que atraviesa el país desde las costas de Jalisco y Nayarit hasta la región del Cofre de Perote (Demant, 1978), ver Figura 2. Su origen así como el de la Cuenca de México, está íntimamente relacionado con el sistema de arco-trinchera propiciado por la subducción de la Placa de Cocos con la Placa de Norteamérica (Molnar y Sykes, 1969).

LOCALIZACION Y LIMITES DE LA REGION ESTUDIADA

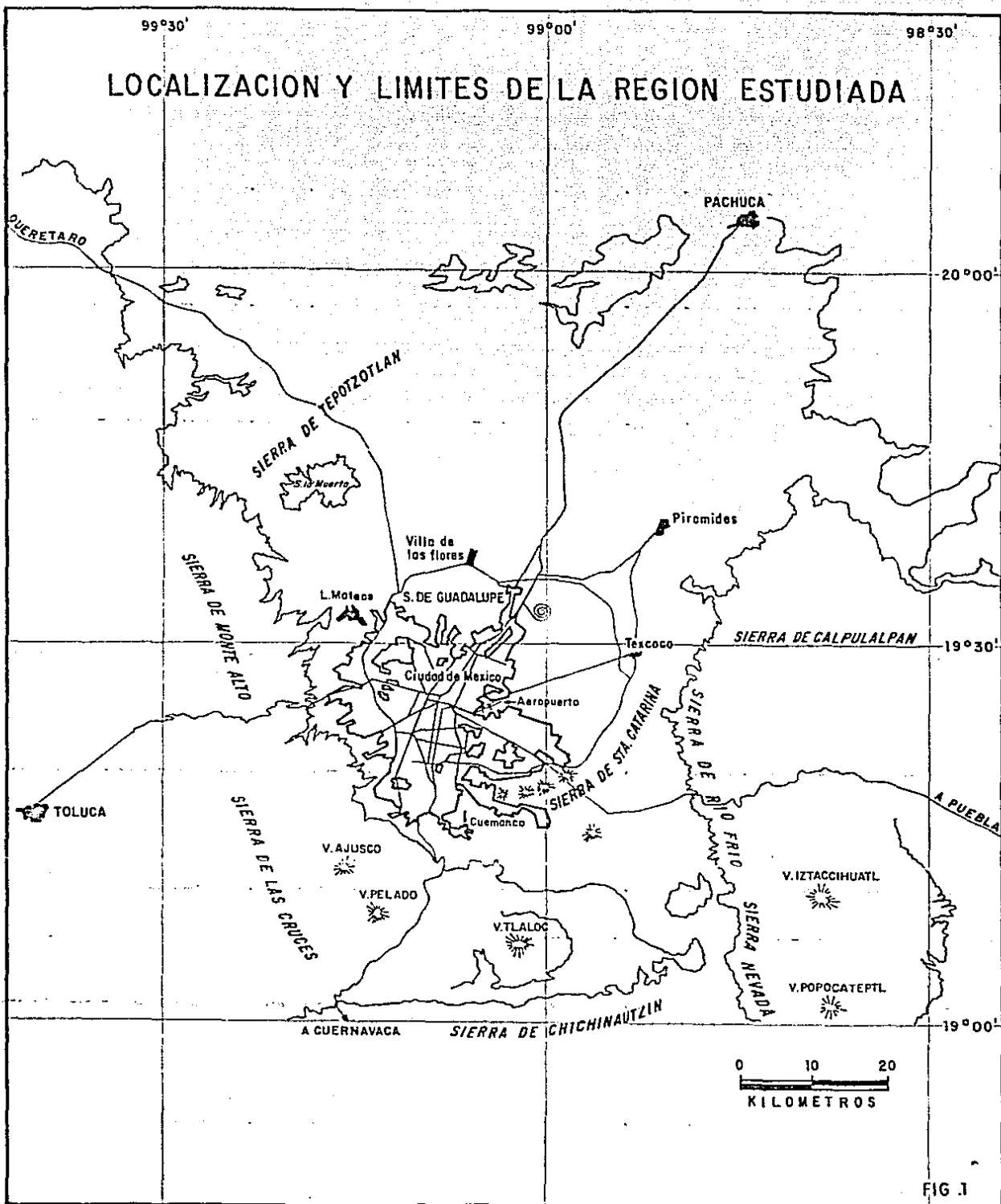


FIG. 1

En la porción occidental de esta franja, las rocas que la constituyen descansan sobre rocas de la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental, del Oligoceno y Mioceno, mientras que en su porción central y oriental descansan sobre secuencias volcánicas andesíticas del Oligoceno y Mioceno Superior (Demant, 1973). La secuencia volcánica completa del Oligoceno al Cuaternario descansa a su vez, discordantemente sobre las rocas marinas calcáreas del Cretácico.

Los estudios de geología superficial realizados en las inmediaciones de la Ciudad de México, revelan una gran variedad de rocas terciarias y cuaternarias de origen volcánico, distribuidas con irregularidad alrededor de múltiples aparatos del mismo origen (Mooser, 1975 y Schalaepfer, 1968). Las rocas aflorantes incluyen tobas, dacitas, andesitas, basaltos, depósitos aluviales y arcillas lacustres. Su edad varía del Oligoceno Medio (32 m.a.) al Cuaternario (Mooser, 1975). Su distribución se muestra en el mapa de la Figura 3.

Por otra parte, la información de ocho pozos perforados en diferentes localidades de la Ciudad, a la profundidad promedio de 1,100 metros, por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, junto con la del pozo Texcoco-1, perforado a 2,065 metros de profundidad, ponen de manifiesto que la distribución y litología de las rocas en el subsuelo también son muy variables. Sus columnas litológicas están constituidas por tobas, brechas

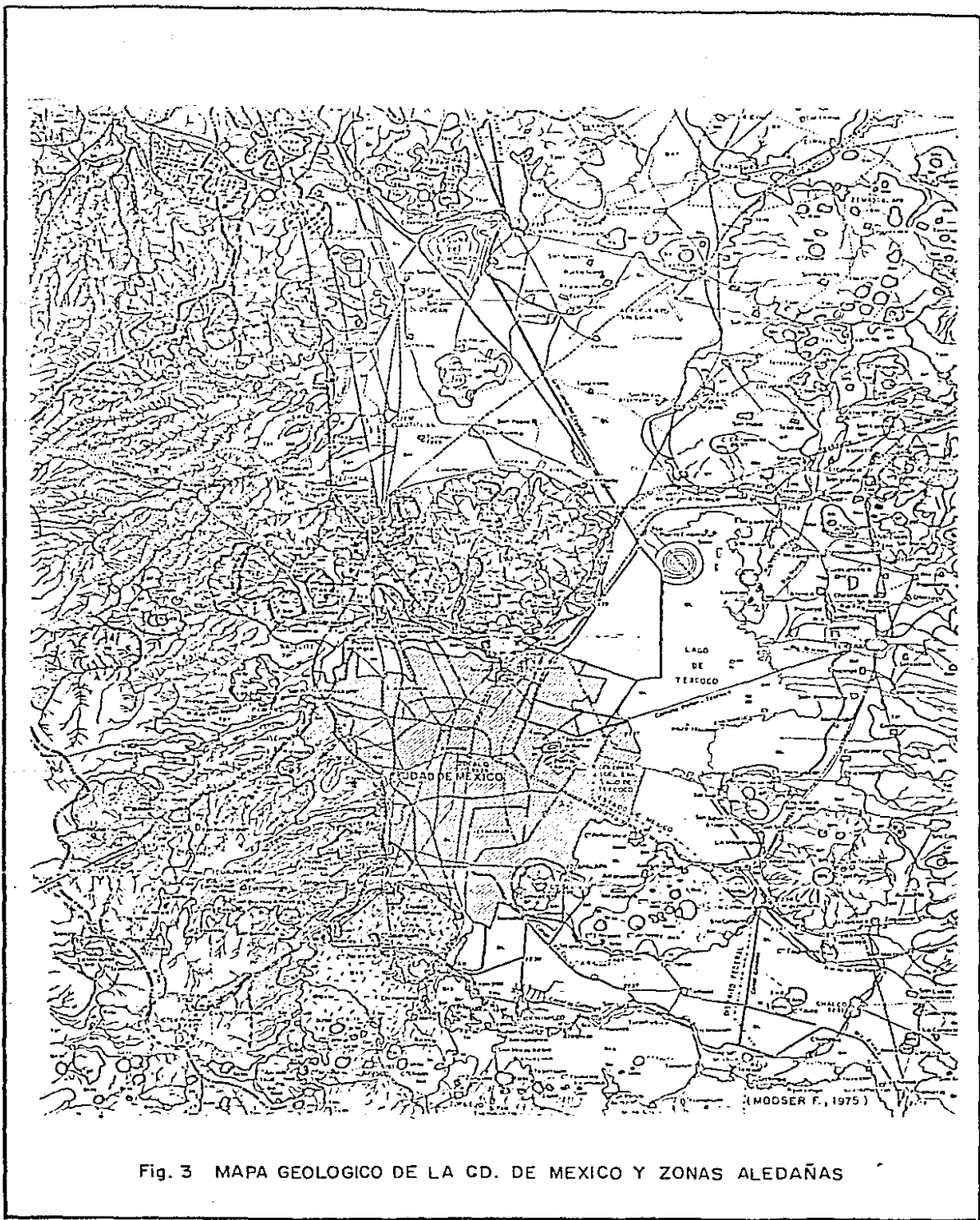


Fig. 3 MAPA GEOLOGICO DE LA CD. DE MEXICO Y ZONAS ALEDAÑAS

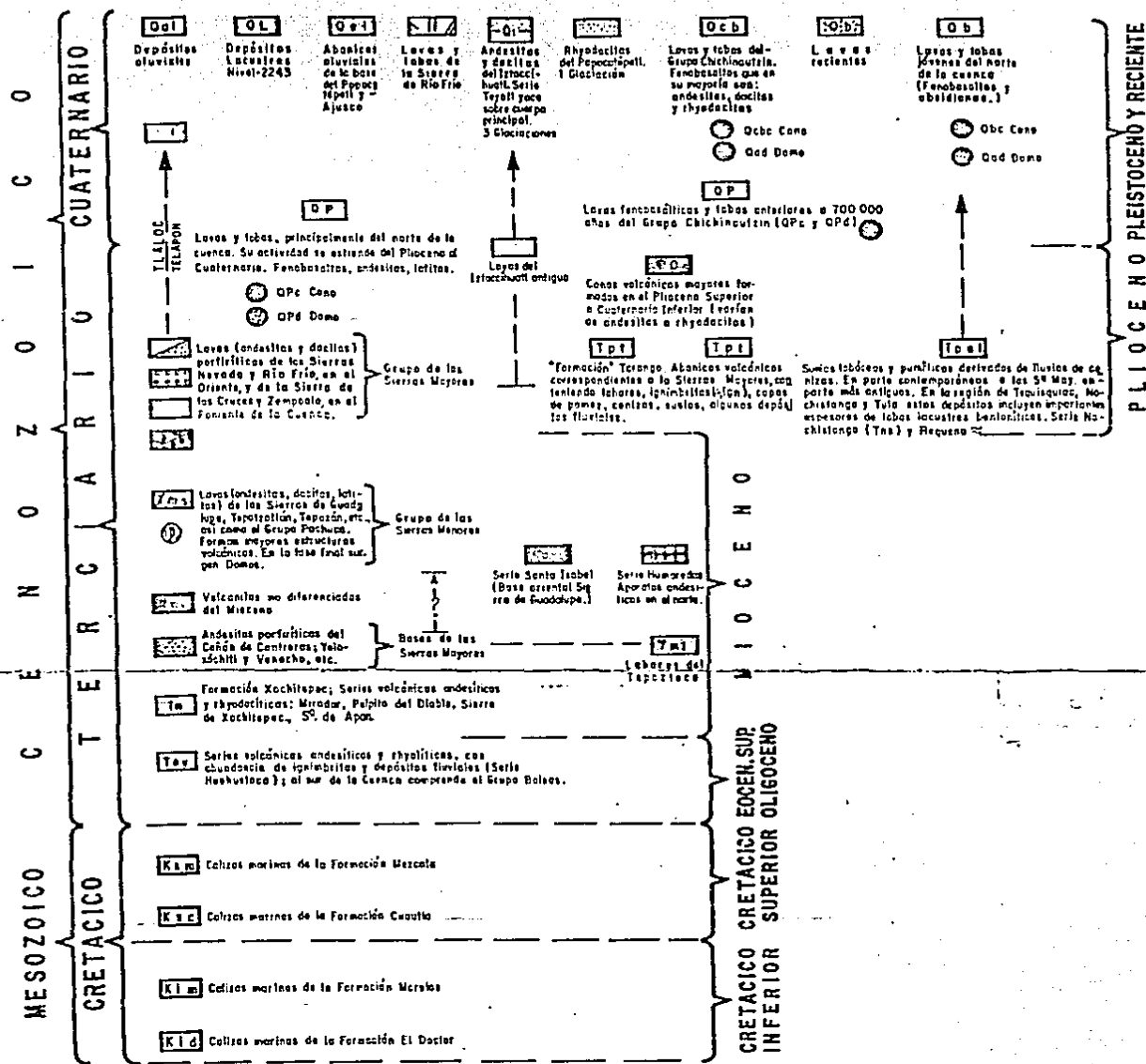


FIG. 3BIS. LEYENDA DEL MAPA DE LA FIGURA 3.

volcánicas, depósitos aluviales, arcillas lacustres y rocas ígneas extrusivas (basaltos y andesitas) de difícil correlación. La edad de estas rocas, según estudios cronoestratigráficos en el pozo Texcoco-1 (Oviedo, 1970), varía del Eoceno Medio al Cuaternario.

ANTECEDENTES GEOFISICOS

Los trabajos de exploración geofísica del subsuelo de la Ciudad de México son escasos, entre ellos destacan el levantamiento gravimétrico efectuado en 1953 por la compañía Servicios Geofísicos (Marsal y Mazari, 1959) y los levantamientos gravimétricos, magnetométricos y sísmicos de refracción, realizados como apoyo al Proyecto Texcoco (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1969).

En la Figura 4 se muestra el mapa gravimétrico de la Ciudad de México y zonas aledañas, resultado del levantamiento de 1953. En él se observan anomalías indicativas de variaciones laterales importantes en la densidad de las rocas del subsuelo. Entre sus rasgos más notables, se pueden mencionar los mínimos alargados que siguen la tendencia actual de los depósitos lacustres en las localidades de Chalco-Xochimilco, Texcoco-Iztapalapa, El Caracol, Ecatepec, Santa Lucía y Cuautitlán. Los máximos gravimétricos más notables siguen la tendencia de los principales rasgos positivos actuales en las localidades del Cerro de la Estrella, Sierra de Santa Catarina, Cerro de Chiconautla y Sierra de Guadalupe.

MAPA GRAVIMETRICO DE LA CIUDAD DE MEXICO Y ZONAS ALEDAÑAS

TOMADO DE MARSAL Y MAZARI, 1959

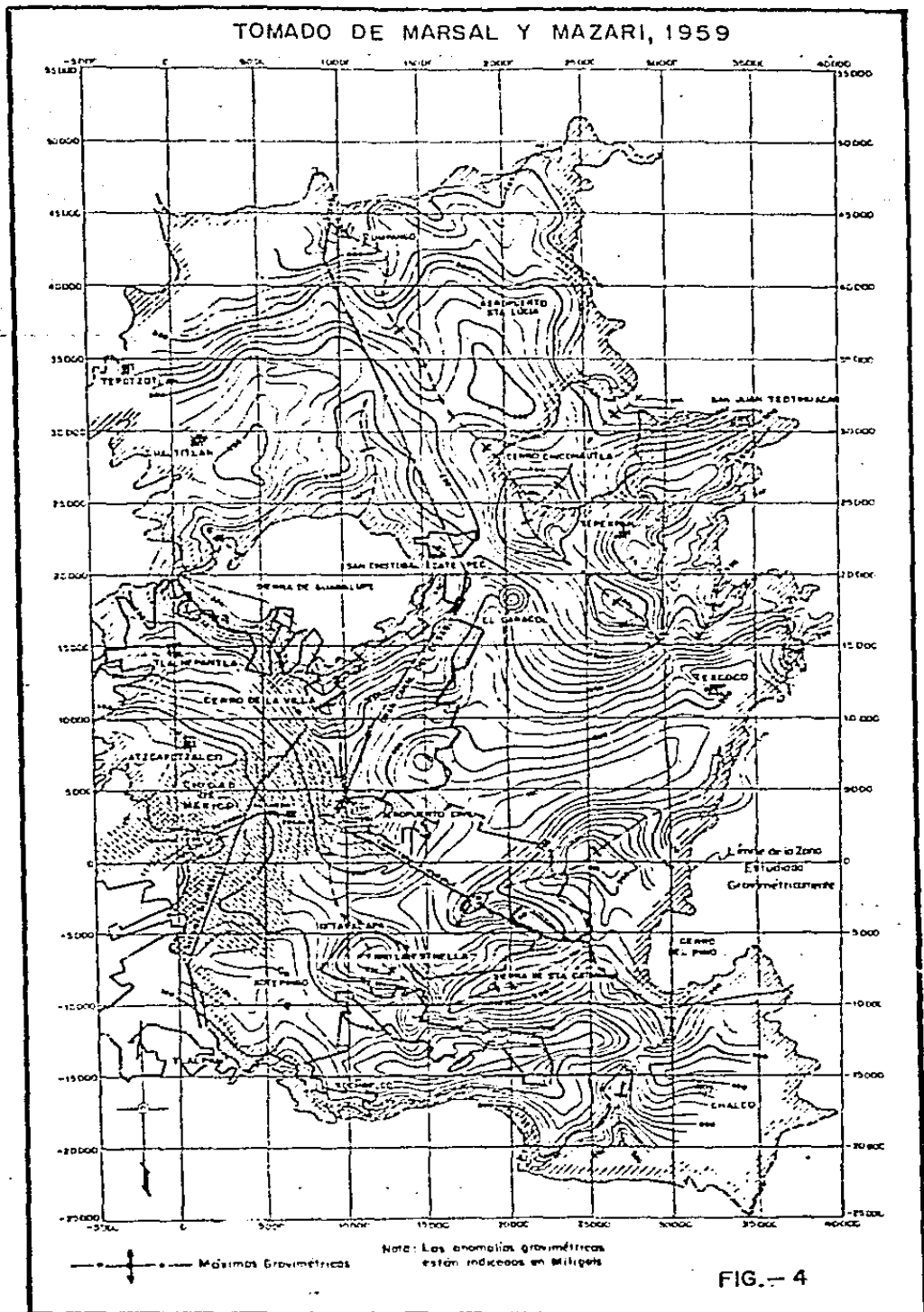
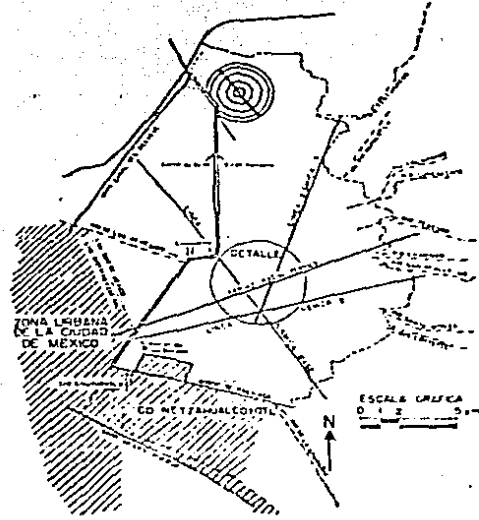
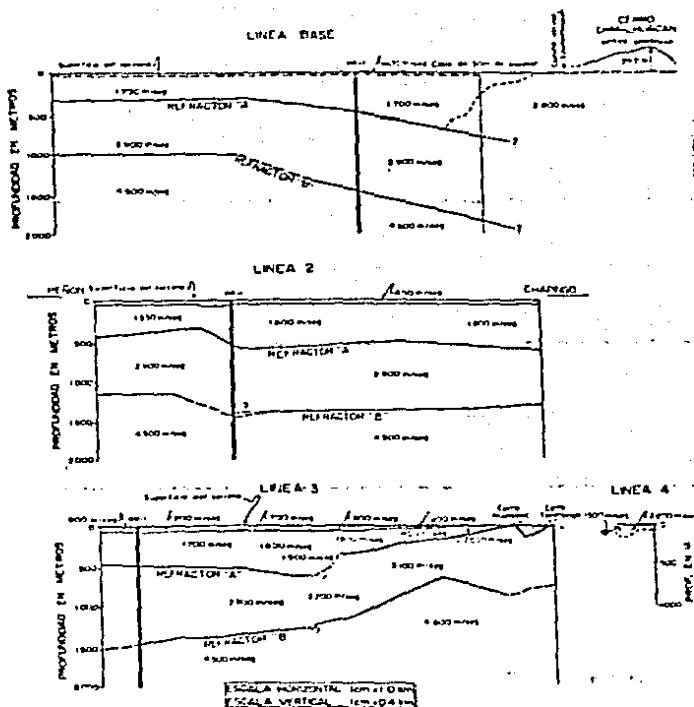


FIG.- 4

Entre los rasgos gravimétricos no relacionados con depósitos lacustres, ni con la topografía actual, se encuentra la prolongación del máximo de la Sierra de Guadalupe hacia el aeropuerto y la variación decreciente de los valores de gravedad hacia el poniente del centro de la Ciudad.

Por otra parte, los estudios sísmicos de refracción del Proyecto Texcoco (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1969), revelan la presencia en el subsuelo de cuatro capas de velocidad distinta en los primeros 1,500 metros de profundidad. En dichos estudios se interpreta que las capas identificadas tienen relieve suave a lo largo de los perfiles y sufren variación lateral de velocidad (Figura 5). Sus velocidades promedio son de 600, 1,700, 2,900 y 4,500 m/seg y están asociadas con depósitos de arcilla lacustre, depósitos arcillo arenosos, tobas con horizontes de arena y con rocas compactas (posiblemente ígneas extrusivas), respectivamente.



EXPLORACION SISMICA - PERFILES DE REFRACCIONES EN LAS LINEAS 2, 3 Y 4.

LEVANTAMIENTO SISMICO. MANTO Y REFRACTORES DETERMINADOS EN LA LINEA BASE.

MANTO	VELOCIDAD MEDIA	PROFUNDIDAD*	CARACTERISTICAS DE LA FORMACION
	m/seg	m	
Superficial	600	0 a 30	Formación de arcilla muy compresible y saturada de agua
Primero	1 700	30 a 520	Formación arcillo-arenosa poco compacta y saturada de agua
Refractor "A"	-	520 /	-
Segundo	2 900	520 a 1445	Tobas compactas con intercalaciones de horizontes arenosos
Refractor "B"	-	1445 /	-
Tercero	4 500	*1445 en adelante	Roca muy compacta, posiblemente ígneas

* En la intersección de las dos líneas sísmicas

Fig. 5. ESTUDIO SISMICO DE REFRACCION DEL PROYECTO TÉXCOCO.

C A P I T U L O I I

ANALISIS DE INFORMACION

Con los antecedentes disponibles resulta muy difícil formarse una imagen clara de las características del subsuelo profundo de la Ciudad de México, saltando a la vista muchas preguntas relacionadas con su composición y estructura. Con la intención de dar respuesta al mayor número de ellas y tener una mejor imagen del subsuelo, entre los años de 1986 y 1987, Petróleos Mexicanos llevó a cabo un estudio sismológico de reflexión (P.R.C.) y la perforación de cuatro pozos de sondeo estratigráfico.

El estudio integrado de la información sismológica con la información litoestratigráfica de los pozos de sondeo estratigráfico, pretendió alcanzar los siguientes objetivos:

1. Conocer el espesor y distribución de los sedimentos lacustres.
2. Investigar el espesor, distribución, correlación y relieve de las diferentes unidades de rocas, producto de la actividad volcánica en el pasado y que se encuentran sepultadas en el subsuelo de la Ciudad.
Conocer el relieve de las rocas calcáreas del Cretácico que sirven de basamento a la columna volcánica.

4. Definir el sistema de fallas mayores que afecta a las unidades de roca en el subsuelo de la región.
5. Conocer la velocidad y densidad de las rocas que forman el subsuelo de la Ciudad.

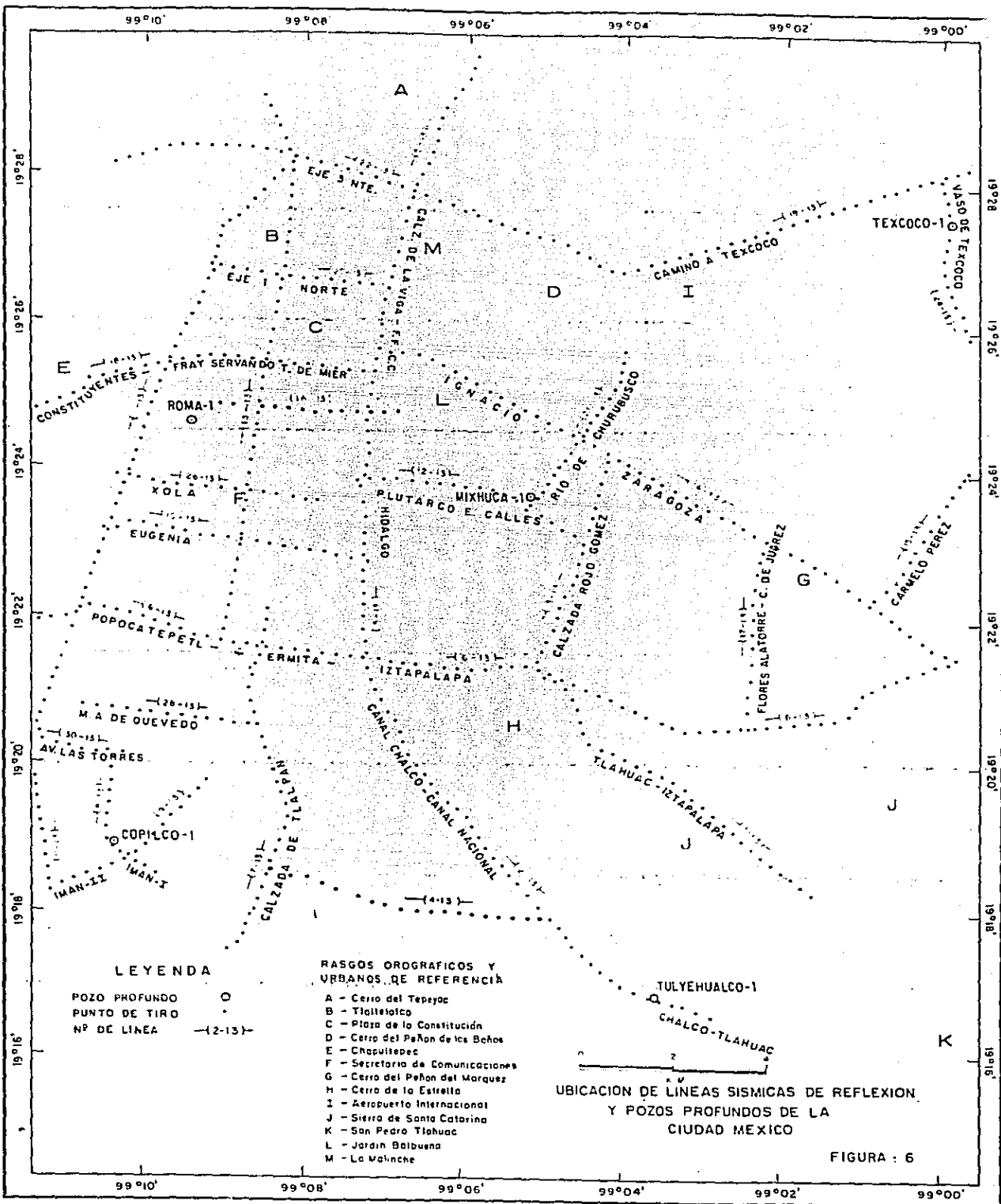
LEVANTAMIENTO SISMOLOGICO DE REFLEXION

Las observaciones sismológicas fueron realizadas a lo largo de 243 km de calles y avenidas de la Ciudad, seleccionando aquellas que por su ubicación, orientación y accesibilidad garantizaran un muestreo apropiado del subsuelo, prestando especial atención a las zonas más dañadas por los sismos de septiembre de 1985. Se observaron un total de 26 líneas con longitudes variables entre 2 y 28 Km. En el mapa de la Figura 6 se muestra su ubicación. El trabajo se desarrollo en dos etapas, una experimental y otra de producción. Durante la etapa experimental se diseñaron los parámetros de campo necesarios para garantizar la identificación confiable de eventos de reflexión, debidos a heterogeneidades asociadas con rasgos estructurales y estratigráficos del subsuelo, así como la eliminación de eventos sísmicos indeseables, ocurridos durante la propagación de ondas sísmicas desde la fuente de energía hasta los geófonos.

Equipo

El equipo empleado para la observación sismológica consistió en:

- 1 sismógrafo digital de 48 canales con rango dinámico de 168 db.



- 4 vibradores electromecánicos como fuente de energía
- 1,440 transductores electromecánicos (geófonos) con frecuencia natural de 10 Hz
- cables con dos salidas y 60 pares de conductores
- microcomputadora para proceso específico (suma y correlación)

Parámetros

Como resultado del análisis de las características del campo ondulatorio presente en la superficie del terreno al activar la fuente de energía en 15 localidades, se seleccionaron los siguientes parámetros para ser usados en la etapa de producción:

Geometría del tendido: 1,250m - 100m - 0 - 100m - 1,250m

Distancia entre grupos de geófonos: 50 metros

Patrón de detección: 30 geófonos por grupo con 4 metros de separación

Patrón de Vibración: 4 vibradores separados 16 metros, con 20 barridos por estación y avance de 5 m.

Frecuencia de Barrido De 14 a 56 Hz

Longitud de Barrido: 16 Seg.

Apilamiento Horizontal: 1,200 %

Análisis de Sismogramas de "campo"

La información resultante de las operaciones sismológicas, fue grabada en cinta magnética y presentada en monitores o sismogramas de "campo", siendo sus características generales las siguientes (Figura 7):

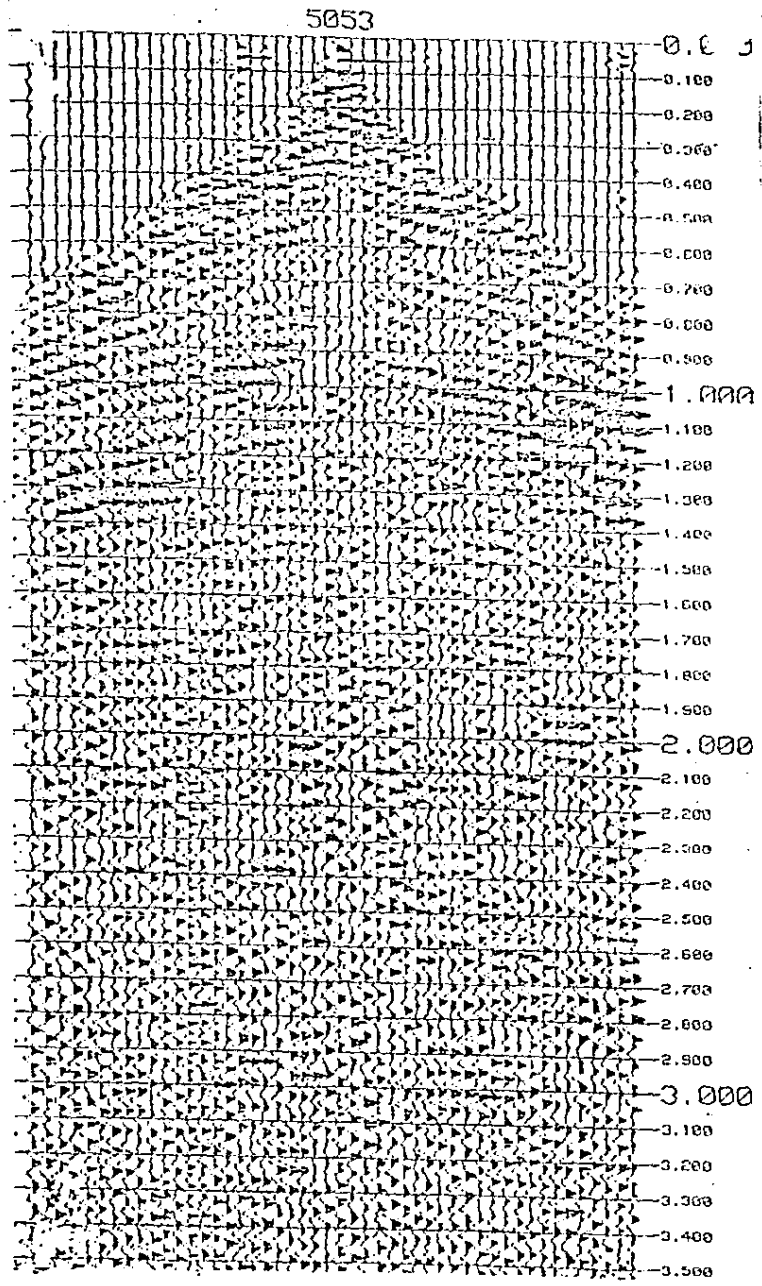


Fig.7 SISMOGRAMA TIPICO DE LA CIUDAD DE MEXICO. P.V. 206 LINEA 11/13.

1. Notable atenuación de eventos de ruido organizados (ondas superficiales).
2. Primeros arribos (ondas directas y refractadas) bien definidos.
3. Eventos de reflexión tempranos (entre 0.2 y 0.5 segundos), de amplitud media y correlación buena en trazas cercanas.
4. Eventos de reflexión entre 0.5 y 1.0 seg. de correlación pobre, y baja amplitud relativa.
5. Eventos de reflexión entre 1.0 y 1.2 seg. de buena correlación y gran amplitud relativa.
6. A partir de 1.2 segundos, los eventos sísmicos son de muy pobre correlación y baja amplitud.

Aunque las señales generadas por la fuente de energía tienen espectros planos entre 14 y 56 Hz, la energía de la señal reflejada entre 0.4 y 2.0 segundos, está contenida predominantemente en el rango de 10 a 36 Hz, según se observa en el espectro de amplitud de la Figura 8.

Procesamiento de Datos

La información contenida en las cintas magnéticas de "campo", fué sometida al procesado convencional de datos sísmicos tendiente a eliminar los efectos de: topografía, heterogeneidades litológicas superficiales, ruido aleatorio y ruido organizado; además de enfatizar eventos de reflexión, estimar velocidades sísmicas y lograr correlación entre eventos de trazas contiguas. La aplicación del procesado sísmico, fué necesaria para producir secciones que estuvieran en condiciones

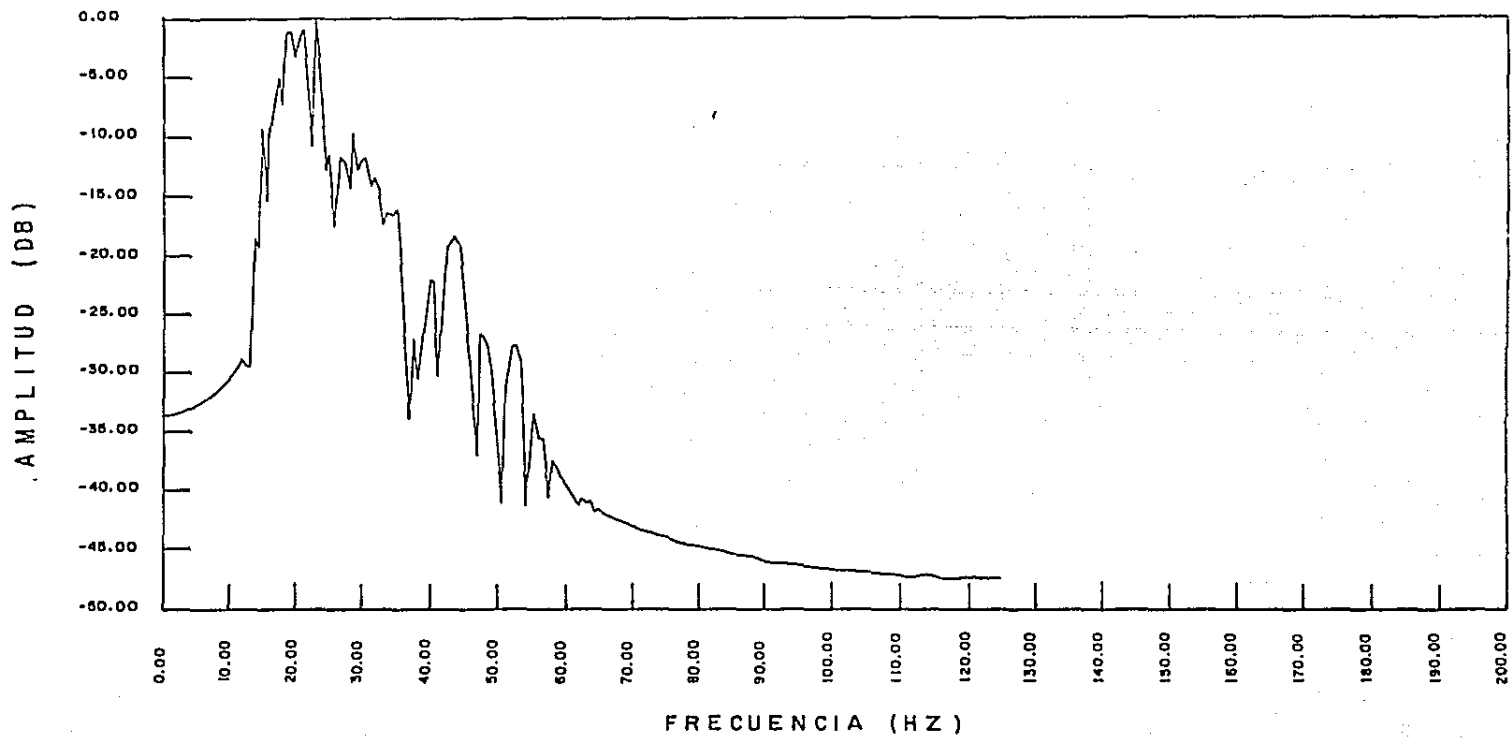


Fig.8 ESPECTRO DE AMPLITUD TIPICO DE INFORMACION SISMICA DE LA CD. DE MEXICO

de ser interpretadas en términos de litoestratigrafía y estructura del subsuelo. Los procesos sísmicos fueron:

- suma y correlación
- correcciones estáticas y dinámicas
- recuperación de amplitud verdadera
- deconvolución predictiva
- deconvolución reconstructiva (wavelet deconvolution)
- filtros variables con el tiempo
- análisis de velocidades
- filtros de coherencia
- apilamiento 1 200%

Un análisis minucioso de las pruebas de campo, diseño de parámetros de adquisición y de proceso, fué presentado en el informe del Estudio Geológico y Geofísico del Subsuelo de la Ciudad de México, realizado por Petróleos Mexicanos.

Secciones Sísmicas Resultantes

Las principales características de las secciones sísmicas resultantes sometidas a proceso son las siguientes:

1. La respuesta sísmica es buena en las observaciones realizadas dentro de la llamada Zona del Lago y mala en las zonas Transicional y de Lomas (Figura 9).
2. La información sísmica entre 0.2 y 1.2 segundos es buena, identificándose sin dificultad eventos de reflexión de amplitud media y alta, con buena correlación (Figura 10).
3. Entre 1.2 y 1.4 segundos, la información sísmica varía de regular a pobre; se observan eventos de amplitud media y baja, de difícil correlación.

ZONA LACUSTRE ——— ZONA TRANSICIONAL

SE

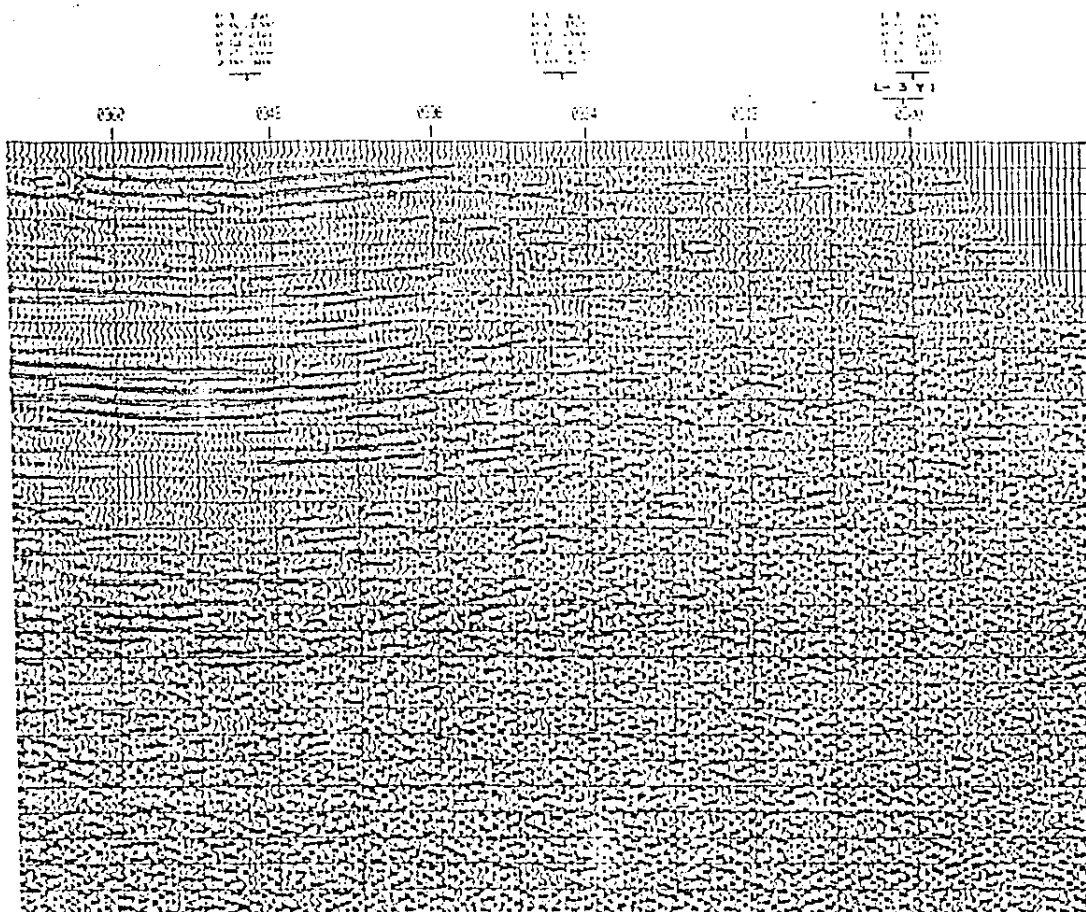


Fig. 9 COMPARACION DE LA RESPUESTA SISMICA SOBRE ZONAS CON DIFERENTES TIPOS DE SUELO EN LA CD. DE MEXICO. L-6/13.

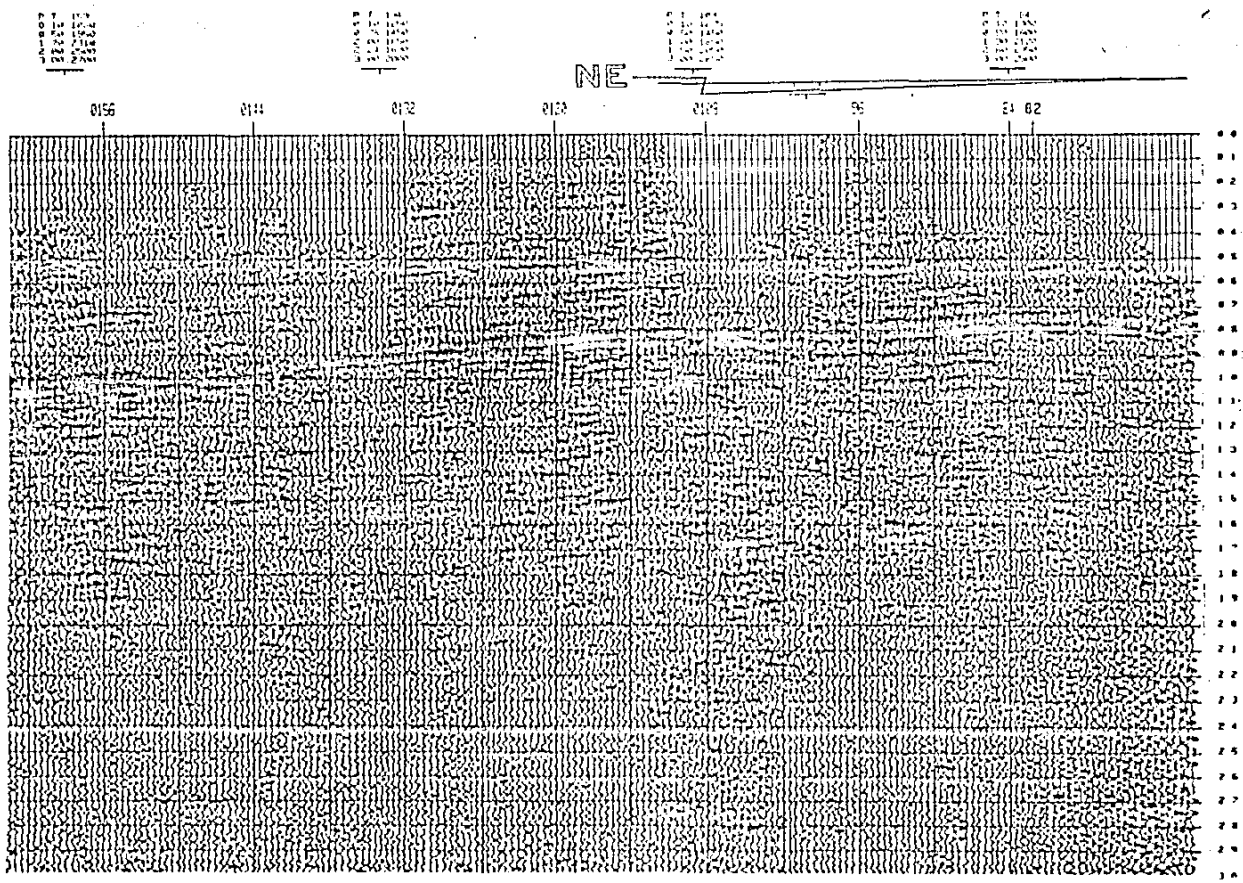


FIG.10. SECCION SISMICA TIPICA DE LA CIUDAD DE MEXICO LINEA 7/13

4. De 1.6 segundos en adelante, la información es pobre, los eventos de reflexión son de baja amplitud y no correlacionables.
5. Los eventos de reflexión de mayor amplitud relativa y mejor correlación están contenidos, en general, entre 0.9 y 1.1 segundos.

SONDEOS ESTRATIGRAFICOS

Para complementar el estudio del subsuelo, fueron perforados en la Ciudad cuatro pozos de sondeo estratigráfico. Su ubicación, también mostrada en la Figura 6, estuvo dictada por la necesidad de investigar las condiciones del subsuelo en localidades estratégicas, por la disponibilidad de lugares con espacio y servicios apropiados para albergar el equipo de perforación y por la proximidad con las líneas sismológicas. Los pozos fueron llamados: Copilco-1, Tulyehualco-1, Mixhuca-1 y Roma-1; alcanzando profundidades máximas de 2,258 m, 3,000 m, 2,452 m y 3,200 m, respectivamente. Las rocas cortadas, recuperadas en forma de muestras de canal y de núcleo, fueron sometidas a estudios petrográficos, paleontológicos y geocronológicos, y usadas para construir las columnas geológicas respectivas, mostradas en la Figura 11. En ellas se observa una gran variedad litológica, que incluye: arcillas lacustres, arcillas arenosas, arcillas tobáceas, arenas, conglomerados tobáceos, conglomerados volcánicos, brechas volcánicas, basaltos, andesitas, brechas calcáreas y calizas marinas.

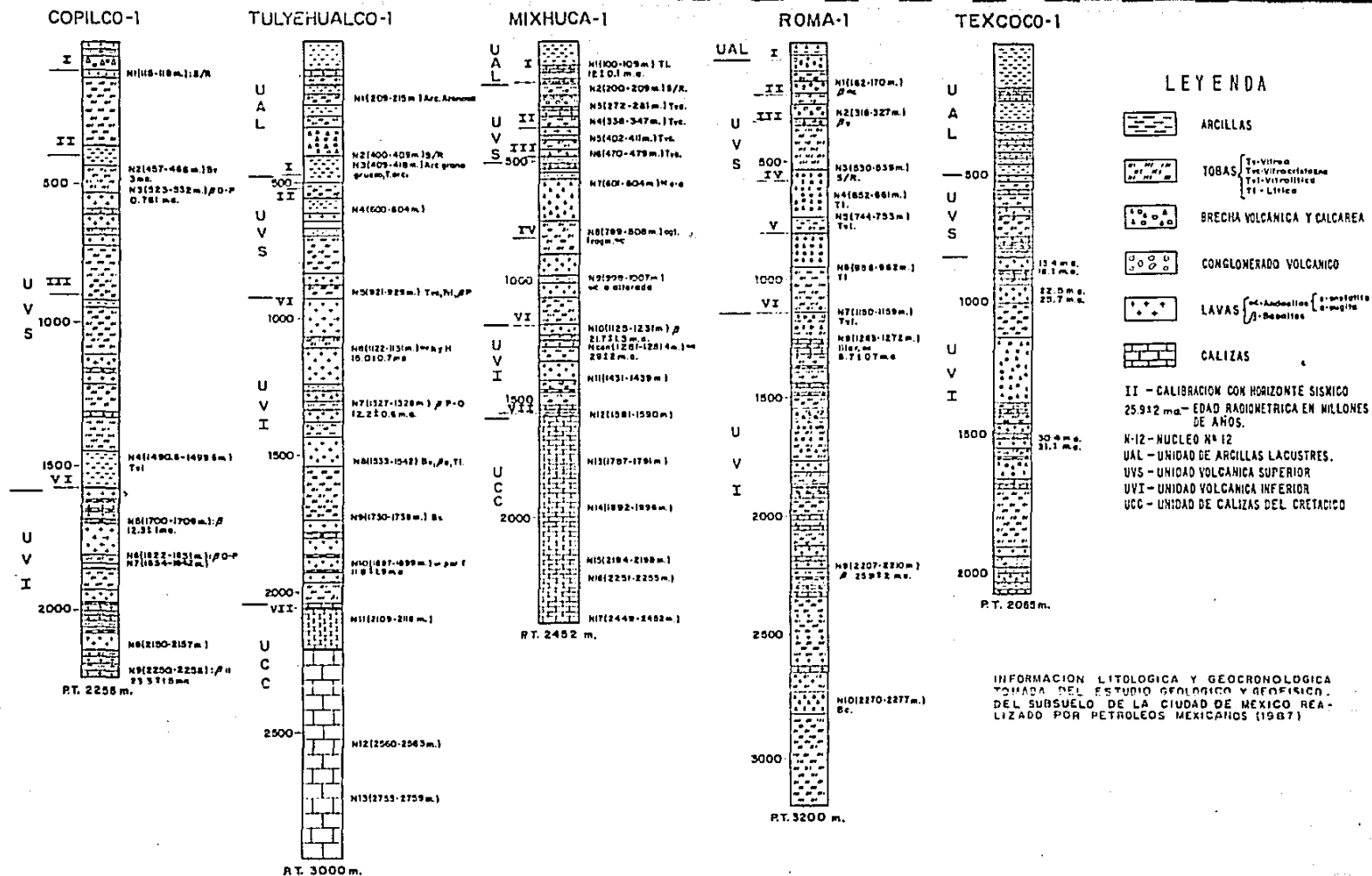


FIG. 11. COLUMNAS GEOLÓGICAS DE LOS POZOS PROFUNDOS DE LA CIUDAD DE MEXICO

Toda esta amalgama litica puede ser dividida de manera general en cuatro unidades, de más antigua a más joven: una unidad relativamente homogénea de rocas calcáreas del Cretácico que sirve de "basamento" a las otras tres; una segunda unidad aquí denominada Unidad Volcánica Inferior, constituida por productos volcánicos efusivos (basaltos y andesitas) y productos piroclásticos (tobas y brechas); una tercera unidad, aquí llamada Unidad Volcánica Superior, constituida predominantemente por rocas piroclásticas (conglomerados, brechas y tobas), con mucho menor proporción de rocas efusivas (basaltos) y finalmente, una cuarta unidad constituida por depósitos arcillosos lacustres, llamada aquí Unidad de Arcillas Lacustres.

La edad de la Unidad Volcánica Inferior, de acuerdo con datos geocronológicos (K/Ar) en muestras de núcleo de los pozos perforados varia de 8 a 31 millones de años, lo que la sitúa entre el Oligoceno Superior y Mioceno Superior. Por la posición estratigráfica y estudio geocronológico (K/Ar), de una muestra de basalto obtenida a 550 metros de profundidad en el pozo Copilco-1, de 0.761 m.a., se considera que la Unidad Volcánica Superior queda comprendida entre el Plioceno y el Cuaternario. En esas condiciones y de acuerdo con estudios geológicos previos (por ejemplo Demant, 1978), la Unidad Volcánica Inferior se correlaciona con las rocas que forman la extensión al poniente de la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental. Mientras que la Unidad Volcánica Superior corresponde propiamente a rocas del Eje Neovolcánico.

El espesor de la Unidad Volcánica Inferior varía de 385 m, en el pozo Mixhuca-1, a más de 2,050 metros, en el pozo Roma-1. El de la Unidad Volcánica Superior varía de 435, en el pozo Tulyehualco-1 a 1,525 metros en el pozo Copilco-1. El espesor total de ambas unidades varía de 1,375 m en el pozo Mixhuca-1 hasta más de 3,135 m en el pozo Roma-1. El espesor de la Unidad de Depósitos Lacustres varía de cero metros en el pozo Copilco-1, a 490 m en el Tulyehualco-1.

Correlación

Poderosas herramientas empleadas en la correlación estratigráfica entre los pozos de la Ciudad, fueron los registros sínicos de porosidad y de densidad compensada. En la Figura 12 se muestran los registros correspondientes a los pozos Copilco-1 y Tulyehualco-1. Se han marcado con letras de la A a la G las respuestas a algunos cuerpos de rocas efusivas; el cuerpo A define la entrada a la Unidad Volcánica Inferior. Mediante dichos registros también se puede marcar claramente el contacto entre la Unidad Volcánica Superior y la Unidad de Depósitos Lacustres.

El empleo de marcas en los registros geofísicos de pozos y de su información litológica, fueron cruciales en la interpretación sismoestratigráfica del subsuelo de la Ciudad de México, lo cual se discute a continuación.

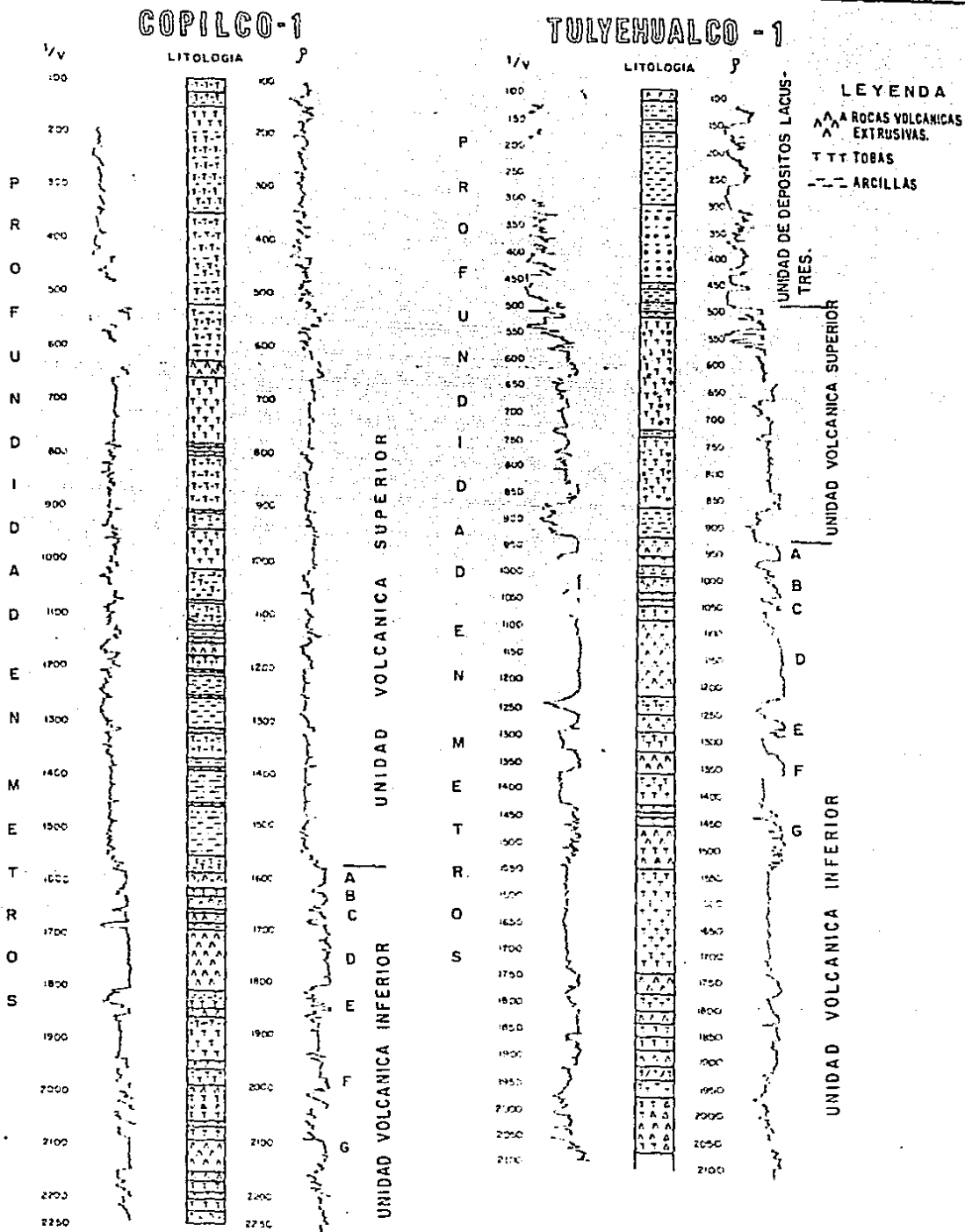


Fig.12. Correlación Litoestratigráfica entre los pozos Copilco-1 y Tulyehualco-1 usando los registros Sónico y de Densidad

C A P I T U L O I I I

INTERPRETACION SISMOLOGICA

La interpretación de la información sísmica, se llevó a cabo mediante la técnica de Estratigrafía Sísmica (Mitchum et al, 1977a; Veil et al 1977; Mitchum et al 1977b; Mitchum y veil, 1977). El objetivo principal del trabajo quedó enmarcado dentro de la macroestratigrafía, en donde se analizaron distintas unidades estratigráficas para deducir patrones de depósito de manera regional, su distribución, relieve y procedencia. La Estratigrafía Sísmica o sismoestratigrafía, ha sido aplicada tradicionalmente en cuencas dominadas por sedimentación marina; sin embargo, su uso en regiones dominadas por vulcanismo y sedimentación continental como es el subsuelo de la Ciudad de México, se justifica por las siguientes razones:

1. Las rocas piroclásticas, por su mecanismo de depósito, forman mantos separados por superficies similares a los planos de estratificación característicos de los depósitos de origen sedimentario marino (Belousov, 1979).
2. Las rocas efusivas forman mantos que, geoméricamente, se aproximan también a los depósitos estratificados, producto de sedimentación marina (Belousov, 1979).

La interpretación sismoestratigráfica comprendió las etapas de análisis de secuencias sísmicas, análisis de facies sísmicas y la integración de datos.

ANALISIS DE SECUENCIAS SISMICAS

Mediante este análisis, se identifican en las secciones sísmicas las sucesiones de eventos de reflexión relativamente conformes, asociados a estratos genéticamente relacionados y acotados en su cima y su base por reflexiones que corresponden a discordancias. A estas sucesiones se les conoce como secuencias sísmicas (Mitchum et al, 1977). Por lo que la tarea más importante en esta etapa es la identificación de eventos de reflexión correspondientes a discordancias y su correlación en todas las secciones disponibles.

En las secciones sísmicas de la Ciudad de México, fueron identificadas y correlacionadas siete discordancias principales denominadas Horizontes I, II, III, IV, V, VI y VII, que representan el límite superior o cima de las secuencias sísmicas llamadas con el mismo número. Es decir, la Secuencia I tiene como límite superior el Horizonte I, la Secuencia II tiene como límite superior el Horizonte II, y así sucesivamente. La Secuencia Lacustre definida sísmicamente es equivalente a la Unidad de Depósitos Lacustres definida en este trabajo con anterioridad. Similarmente, la Secuencia Sísmica VII es equivalente a la Unidad de Calizas del Cretácico. Las secuencias estratigráficas asociadas con las secuencias sísmicas I, II, III, IV y V, quedaron comprendidas dentro de la Unidad Volcánica Superior, mientras que la asociada a la Secuencia Sísmica VI, quedó dentro de la Unidad Volcánica Inferior.

Las Figuras 13 y 14, muestran los horizontes y secuencias identificadas en secciones representativas del subsuelo de la ciudad, a lo largo del Eje Lázaro Cárdenas, la Calzada de Tlálpán, el Eje 2A Sur y la Calzada Ignacio Zaragoza.

ANÁLISIS DE FACIES SÍSMICAS E INTEGRACIÓN DE DATOS

Las facies sísmicas o patrones de reflexión, se refieren a la forma en que los eventos de reflexión están organizados dentro de cada secuencia, a su continuidad, amplitud, frecuencia y velocidad de intervalo. El análisis de las facies sísmicas permite deducir tentativamente, a partir de las secciones, características importantes de las rocas del subsuelo, como son: litología, distribución, paleorelieve y dirección de procedencia de los materiales depositados. Para complementar el análisis, se requiere conocer el relieve y la variación en espesor de las secuencias identificadas; por lo que se elaboraron mapas de contornos correspondientes a los siete horizontes representativos de la cima de las secuencias y mapas que muestran la variación en espesor de cuatro de ellas.

A continuación se presentan los resultados del análisis de facies sísmicas en las secciones de la Ciudad de México, enriquecidos con información litológica de los pozos profundos. El análisis se hace, por conveniencia, en cada una de las secuencias.

Secuencia VII

Una de las unidades de mayor importancia es la formada por las calizas del Cretácico, ya que constituye el basamento de la secuencia volcánica y como se verá, posee propiedades acústicas contrastantes con el resto de las rocas del subsuelo de la Ciudad.

Su cima corresponde a la discordancia más importante en la región estudiada, ya que de acuerdo con los datos geocronológicos de los pozos representa períodos de erosión y no depósitos de hasta 30 millones de años, habiendo sido alcanzada a profundidades de 1,575 m. en el pozo Mixhuca-1, y de 2,100 m en el pozo Tulyehualco-1. De acuerdo con datos paleontológicos y petrográficos en las muestras de los pozos, esta secuencia está constituida por estratos de "mudstone" y "wackestone" recristalizados del Albiano-Santoniano. Los pozos Copilco-1 y Roma-1, perforados a las profundidades de 2,258 y 3,200 m respectivamente, no alcanzaron estas rocas.

Mediante el análisis del registro de echados y estudios micropaleontológicos en muestras de canal y de núcleo del pozo Mixhuca-1, se puede interpretar que dentro de esta secuencia existe una falla inversa de orientación NW-SE y vergencia al Oriente. Esto confirma que las condiciones estructurales de las rocas cretácicas en el subsuelo de la Ciudad de México son muy similares a las observadas tanto en la superficie como en el subsuelo de las regiones vecinas de Jasso, Hidalgo y Yauhtepec, Morelos.

La velocidad y densidad de las calizas, de acuerdo a los registros sísmico y de densidad del Pozo Mixhuca-1 son de 6,000 m/seg y 2.7 gr/cm³ respectivamente. En el pozo Tulyehualco-1 no se pudieron obtener estos registros.

A la información sísmica que corresponde a esta unidad se le ha llamado secuencia VII y a la discordancia asociada con su cima, Horizonte VII. La Secuencia presenta eventos de reflexión caóticos y algunas veces paralelos, de muy baja amplitud y discontinuos. Este patrón está ocasionado en parte, por la complejidad estructural de las rocas cretácicas, y en parte, por las pérdidas de transmisión que experimenta la energía sísmica dentro de la columna volcánica. El Horizonte VII está representado por eventos de reflexión discontinuos, de baja amplitud y de correlación pobre.

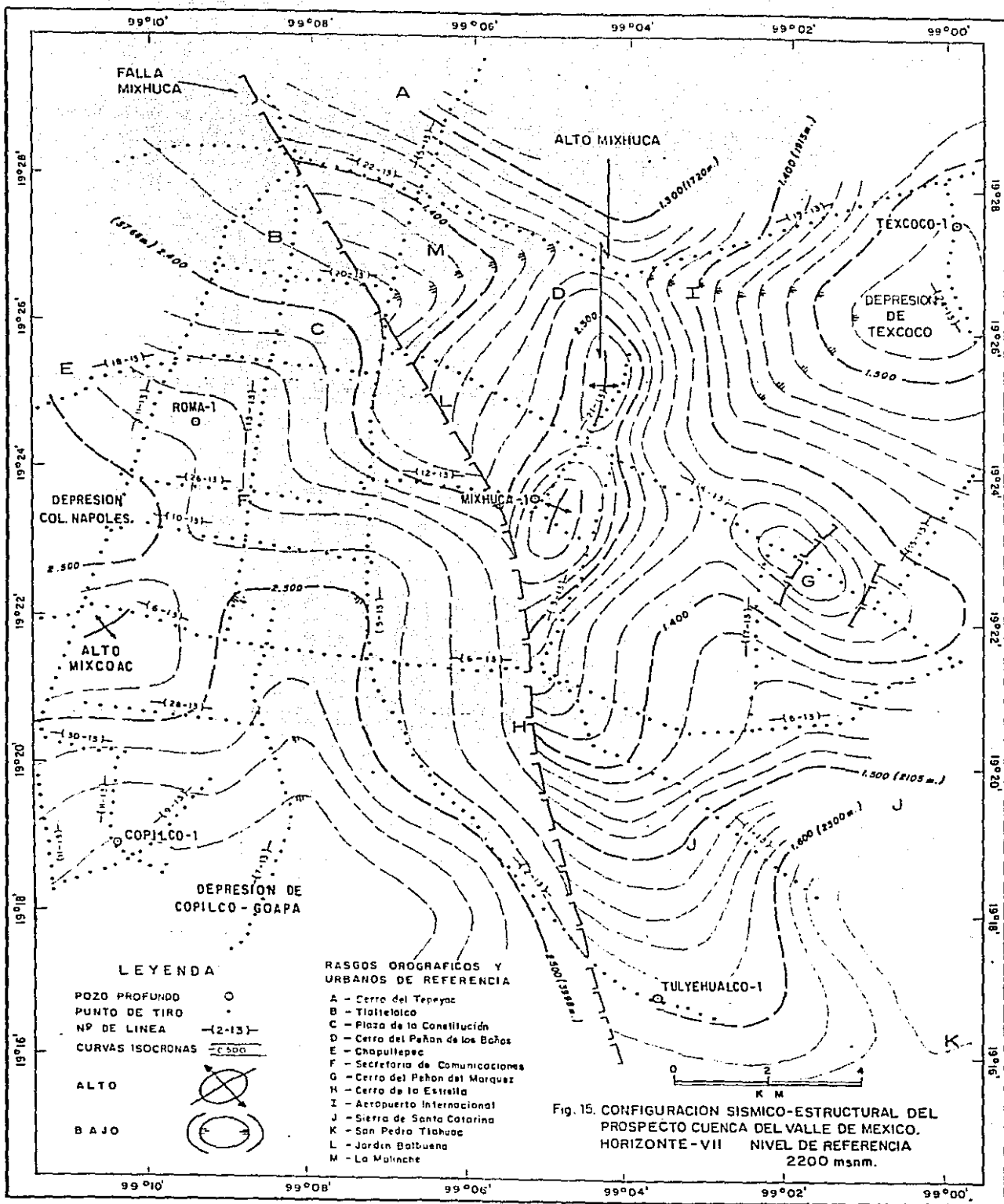
Existen cuando menos tres formas de explicar la diferencia de profundidad de la cima de las calizas entre los pozos Roma-1 y Mixhuca-1. La primera, es suponer que dicha cima forma una superficie inclinada cuando menos 15 grados al Poniente. La segunda, es que la cima esté afectada por una serie de fallas de gravedad que den lugar a pequeños bloques escalonados. Y la tercera, es suponer que la cima esté afectada por una sola falla de gravedad de gran salto. La información sísmica de reflexión por si sola, no proporciona argumentos que permitan dar validez de una manera confiable y única a alguna de las tres posibilidades.

No obstante lo anterior en el presente trabajo se acepta la tercera posibilidad, los argumentos son los siguientes:

1) En las secciones sísmicas que pasan por el pozo Mixhuca-1 y continúan en la dirección del pozo Roma-1, se observan eventos subhorizontales a 1.2 seg. asociados con las calizas, lo que en parte invalida la primera posibilidad.

2) En el mapa gravimétrico de la figura 4, entre los sitios donde se localizan los pozos Mixhuca-1 y Roma-1 se observa un decrecimiento en los valores de gravedad hacia el Poniente, el cual es atribuido, como se puede ver en el apéndice de este trabajo, a una gran discontinuidad en las rocas del subsuelo.

La configuración del horizonte VII mostrada en la figura 15, toma en cuenta los eventos de reflexión correspondientes a la cima de las calizas en los pozos que la atravesaron, su correlación tentativa en todas las secciones sísmicas y la posibilidad de la existencia de una sola falla de gravedad. Al Poniente del pozo Mixhuca-1, también toma en cuenta eventos de reflexión de amplitud media observados a 2.5 seg. en algunos análisis de velocidad. Dicha configuración muestra una gran falla de gravedad con salto al Poniente que varía entre 1,650 y 2,050 m, a la que por su ubicación tentativa aquí se le llama Falla Mixhuca (ver también Figuras 14 y 27). El bloque levantado situado al Oriente de ésta tiene su máxima expresión muy cerca del pozo Mixhuca-1, por lo que se le asigna el nombre de Alto Mixhuca.



El bloque hundido, situado al Poniente de la ciudad, contiene dos grandes depresiones: la de Copilco-Coapa y la de la Colonia Nápoles separadas por un alto de relieve suave localizado alrededor de Mixcoac, denominado aquí Alto Mixcoac. La profundidad a la cima de las calizas en el bloque hundido varía de 3,720 en Vallejo, a 4,135 m en la Depresión Copilco-Coapa. Cabe hacer notar que la configuración representa el relieve de una superficie de erosión y no propiamente la estructura de las rocas calcáreas del Cretácico; ya que ésta es imposible establecerla con la información sísmica disponible.

Aunque el mecanismo que explica la diferencia en profundidad de la cima de las calizas entre los pozos Mixhuca-1 y Roma-1 aun no es claro por la falta de respuesta sísmica, cualquiera que éste sea, produce un alto estructural (Alto Mixhuca) que por su orientación tentativa y propiedades acústicas contrastantes con las de las rocas volcánicas adyacentes puede ser causante de fenómenos de reflexión, refracción y difracción hacia la superficie de ondas generadas por sismos naturales con epicentro en el Poniente del país. Por otra parte, el relieve de la cima de esta unidad, como veremos con posterioridad, es responsable de la conformación de los mantos de material volcánico que sobre ella se depositaron.

Para dar apoyo adicional a la hipótesis de la existencia de la Falla Mixhuca, en cuanto a su localización, orientación y salto; fueron interpretados dos perfiles gravimétricos. Los resultados se muestran en el apéndice de este trabajo.

Secuencia VI

Las rocas asociadas a esta secuencia, están presentes en todos los pozos profundos de la Ciudad y consisten en capas de basalto y andesitas de edad Mioceno - Oligoceno (de edad radiométrica K/Ar que varía entre 8 y 31 millones de años), intercalados con tobas y brechas volcánicas. El espesor de las capas de basalto y andesita varía entre uno y 190 m, mientras que el de las rocas piroclásticas varía entre uno y 165 m. Una capa de brecha calcárea dentro de esta secuencia con espesor de 65 m, fué atravesada en el pozo Roma-1 a la profundidad de 2,750 m. Las rocas efusivas poseen velocidad de 5,100 m/seg y densidad variable entre 2.6 y 2.7 gr/cm³. Las tobas tienen velocidad que varía entre 2,650 y 4,690 m/seg y densidad que varía entre 2 y 2.65 gr/cm³. Las brechas volcánicas poseen velocidad que varía entre 3,050 y 3,390 m/seg con densidad entre 2.2 y 2.45 gr/cm³.

En el norte de la Ciudad esta secuencia contiene patrones de reflexión caracterizados por la presencia de eventos caóticos y eventualmente subparalelos, de baja amplitud, que posiblemente indiquen la existencia de antiguos aparatos volcánicos sepultados. En el resto de la Ciudad, la secuencia exhibe eventos paralelos discontinuos con cambios de amplitud, que indican variación lateral en la distribución de los depósitos asociados. Sus variaciones en espesor están íntimamente controladas por el relieve de la cima de las rocas calcáreas, que forma su base; de aquí que, en términos generales y de

acuerdo con el mapa de la Figura 15, la Secuencia VI posee menor espesor sobre el bloque Mixhuca y se ensuesa hacia el Occidente.

Uno de los rasgos más notables de su cima observados en la Figura 16, es un alto subcircular situado al norte de la Ciudad, inmediatamente al sur del Cerro del Tepeyac, denominado aquí Alto Tepeyac, asociado con una fuerte pendiente hacia el sur que termina en un graben denominado aquí Cenilco, ubicado en las cercanías del pozo del mismo nombre y formado por dos fallas normales con salto promedio de 130 m.

Tal parece que durante el período de depósito de los materiales asociados a esta secuencia, se desarrollaron aparatos volcánicos que sirvieron de fuente cercana de suministro de material en la parte norte de la Ciudad. Por su posición geográfica, es posible que esos aparatos volcánicos estén genéticamente relacionados con los de la Sierra de Guadalupe y el Peñón de los Baños.

Secuencia V

En el pozo Roma-1, las rocas asociadas a esta secuencia son tobas y brechas de 200 y 130 m de espesor, respectivamente. Las tobas tienen velocidad de 2,900 m/seg y densidad que varía entre 2.1 y 2.2 gr/cm³. Las brechas, por su parte, tienen velocidad que varía entre 2,500 y 2,480 m/seg y densidad de 1.9 a 2.1 gr/cm³.

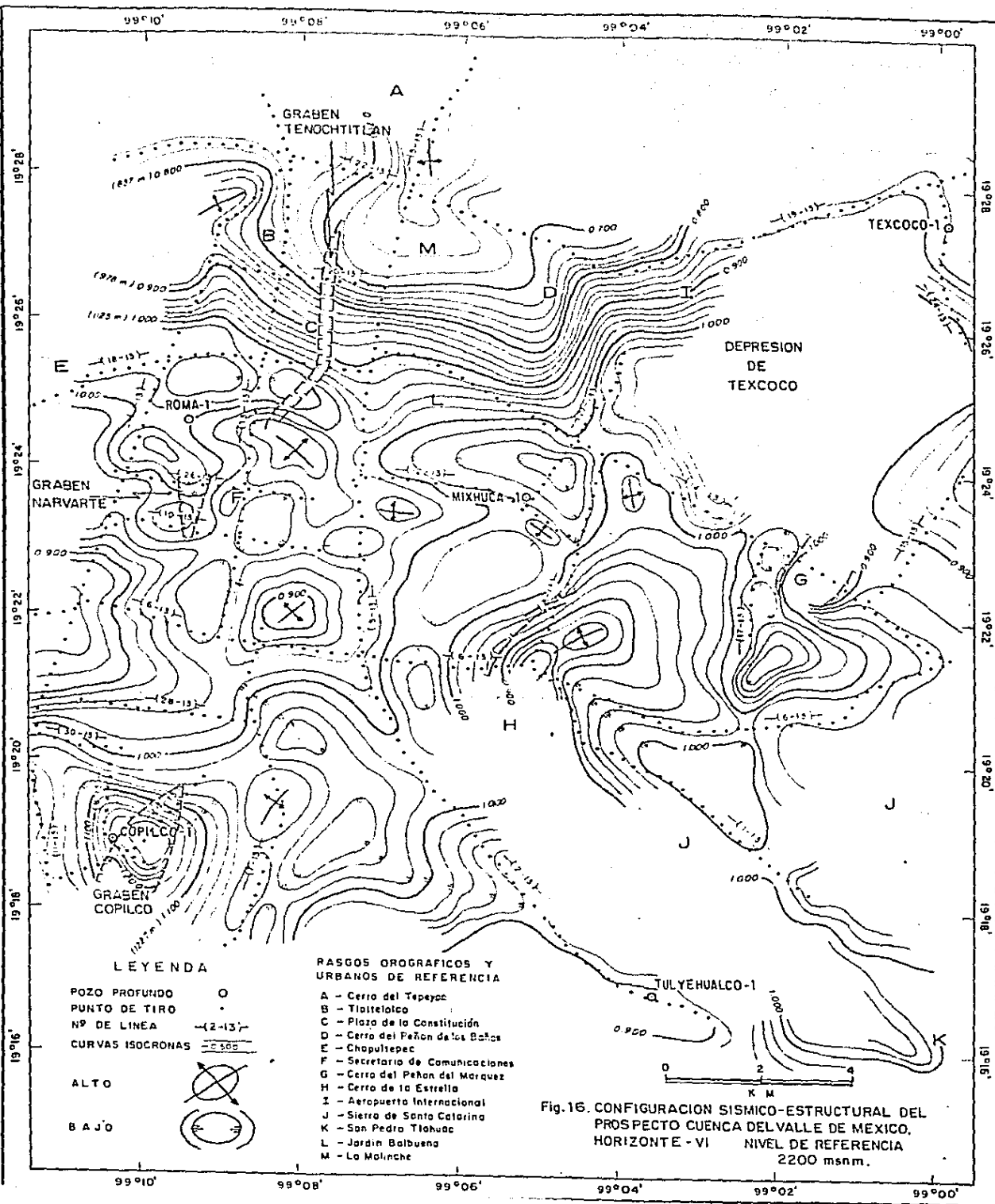


Fig.16. CONFIGURACION SISMICO-ESTRUCTURAL DEL PROSPECTO CUENCA DEL VALLE DE MEXICO. HORIZONTE - VI NIVEL DE REFERENCIA 2200 msnm.

La Secuencia V agrupa reflexiones subparalelas discontinuas, de amplitud media a baja, indicativas de una distribución irregular de los depósitos piroclásticos.

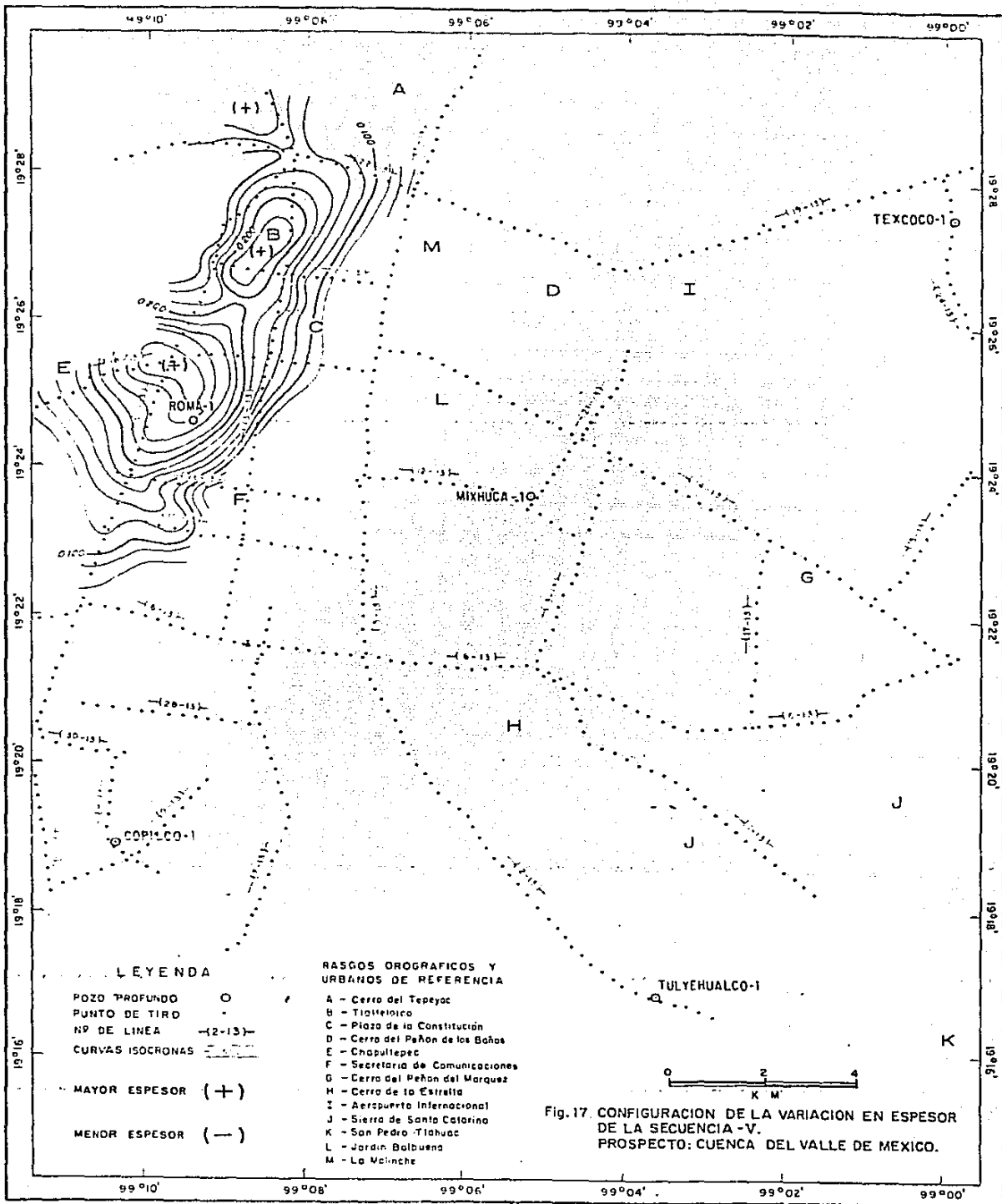
En las Figuras 13 y 14, se puede observar la forma arqueada de la cima de esta secuencia y su adelgazamiento en las direcciones Noreste, Suroeste y Este, por medio de acúñamientos hacia abajo (downlap). Su distribución y variación en espesor se muestran en el mapa de la Figura 17. Como se puede ver, su distribución se restringe a la parte noroccidental de la Ciudad y su mayor espesor se localiza en la Colonia Roma. El rasgo de relieve más notable, asociado a su cima, observado en el mapa de la Figura 18, es un alto ligeramente alargado de orientación

Noreste-Suroeste con buzamiento al Suroeste desde Tlatelolco hasta la Colonia Roma, denominado aquí Alto Roma - Tlatelolco.

De los mapas de relieve y espesor, así como de la litología asociada, se infiere que en el periodo de depósito asociado con esta secuencia, existieron aparatos volcánicos en las cercanías de Tlatelolco que dieron lugar a acumulaciones locales de material volcánico de gran espesor y a la formación del Alto Roma - Tlatelolco.

Secuencia IV

En el pozo Mixhuca-1 está asociada con un cuerpo de arena de casi 100 m de espesor y capas de basalto de hasta 50 m intercaladas con tobas. En el pozo Roma-1 con arcillas arenosas



LEYENDA

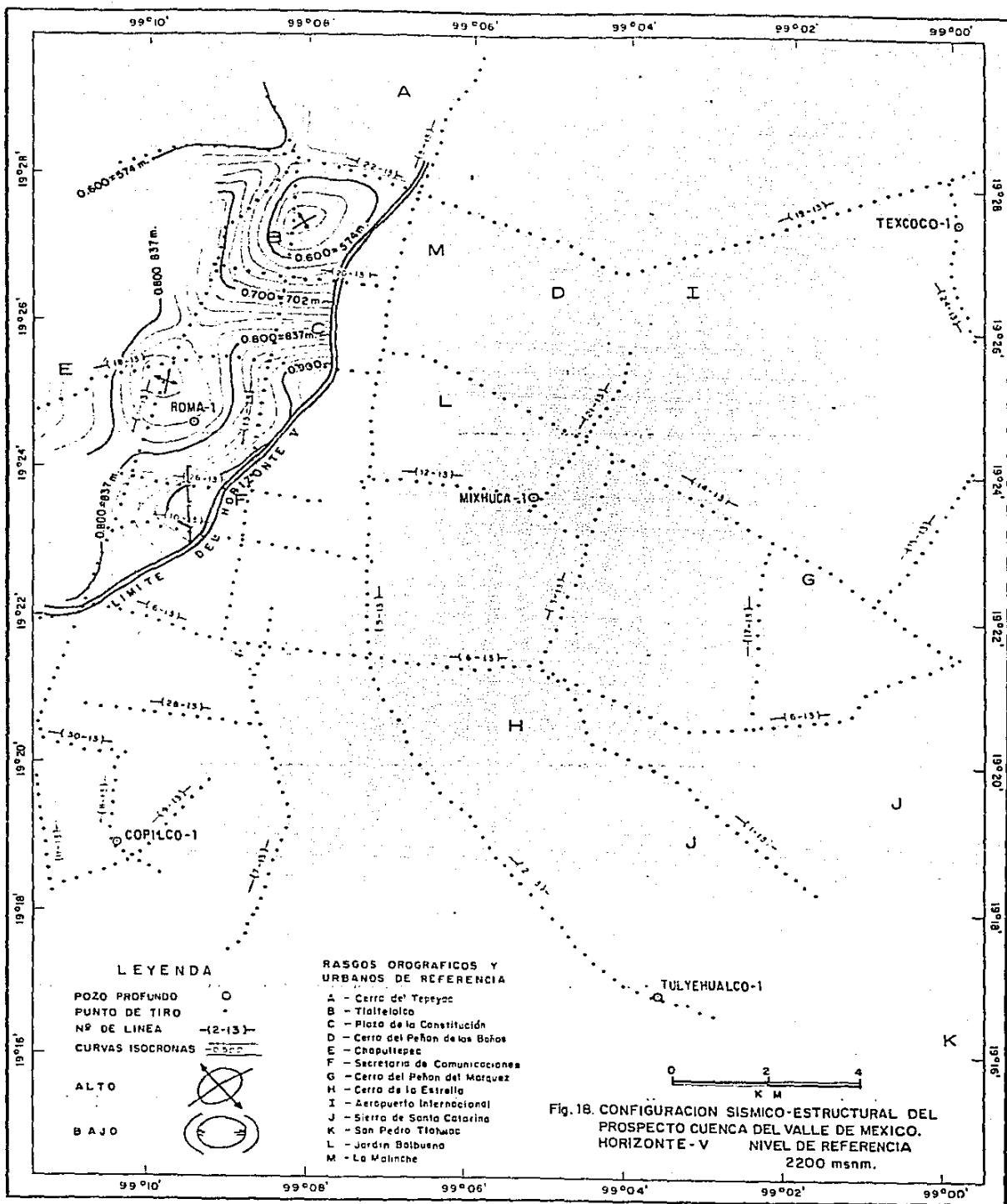
- POZO PROFUNDO ○
- PUNTO DE TIRO ●
- NP DE LINEA —(2-13)—
- CURVAS ISOCRONAS ———
- MAYOR ESPESOR (+)
- MEJOR ESPESOR (-)

RASGOS DROGRAFICOS Y URBANOS DE REFERENCIA

- A - Cerro del Tepeyac
- B - Tlatelolco
- C - Plaza de la Constitución
- D - Cerro del Peñon de los Baños
- E - Chapultepec
- F - Secretaría de Comunicaciones
- G - Cerro del Peñon del Marquez
- H - Cerro de la Estrella
- I - Aeropuerto Internacional
- J - Sierra de Santo Catarina
- K - San Pedro Tlahuac
- L - Jardin Balbuena
- M - La Melinche



Fig. 17. CONFIGURACION DE LA VARIACION EN ESPESOR DE LA SECUENCIA -V. PROSPECTO: CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.



y brechas volcánicas de 140 m de espesor, y en los pozos Tulychualco-1 y Copilco-1 está ausente.

En la tabla siguiente se incluyen las velocidades y densidades de las unidades litológicas asociadas con la Secuencia IV, basadas en los registros sísmicos y de densidad.

LITOLOGIA	RANGO DE VELOCIDAD		RANGO DE DENSIDAD
	m/seg		gr/cm ³
Arenas	2,160	2,900	1.9 - 2.0
Tobas	3,550		2.2 - 2.4
Brechas volcánicas	2,540	3,400	2.0 - 2.25
Arcillas arenosas	2,200		2.0
Basaltos	5,500		2.65

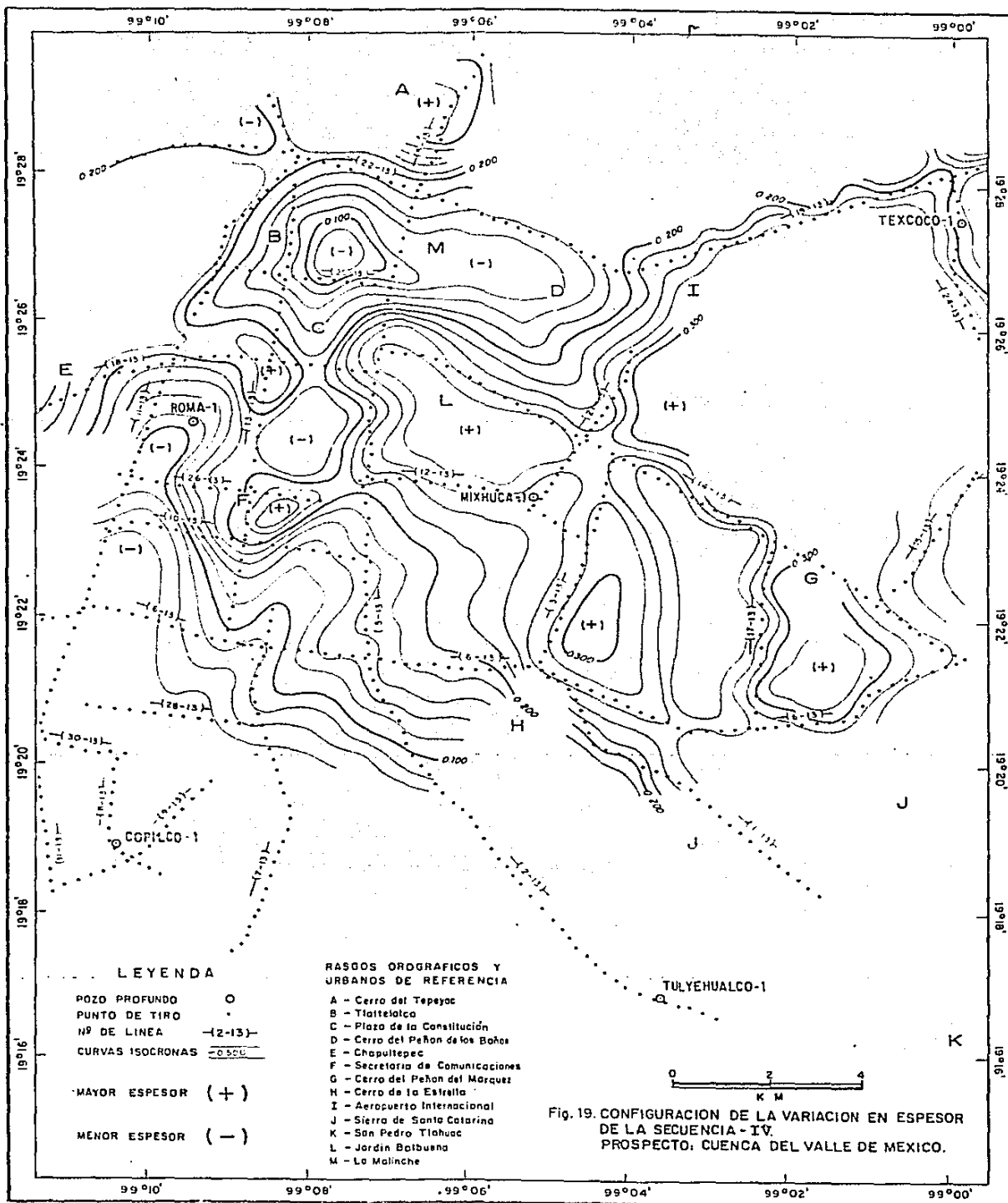
En las secciones sísmológicas del norte de la Ciudad, la Secuencia está constituida por eventos de reflexión subparalelos discontinuos y ondulados de baja amplitud, mientras que en las secciones de la porción central no contienen reflexiones. Esto revela que en la porción norte, los depósitos de arena y brechas volcánicas no tienen una distribución uniforme y forman cuerpos de geometría irregular, mientras que en la porción central la variedad litológica en sentido vertical disminuye. En la Figura 13, es notable su adelgazamiento hacia el Noroeste y su desaparición mediante acuñamiento hacia abajo al Sureste.

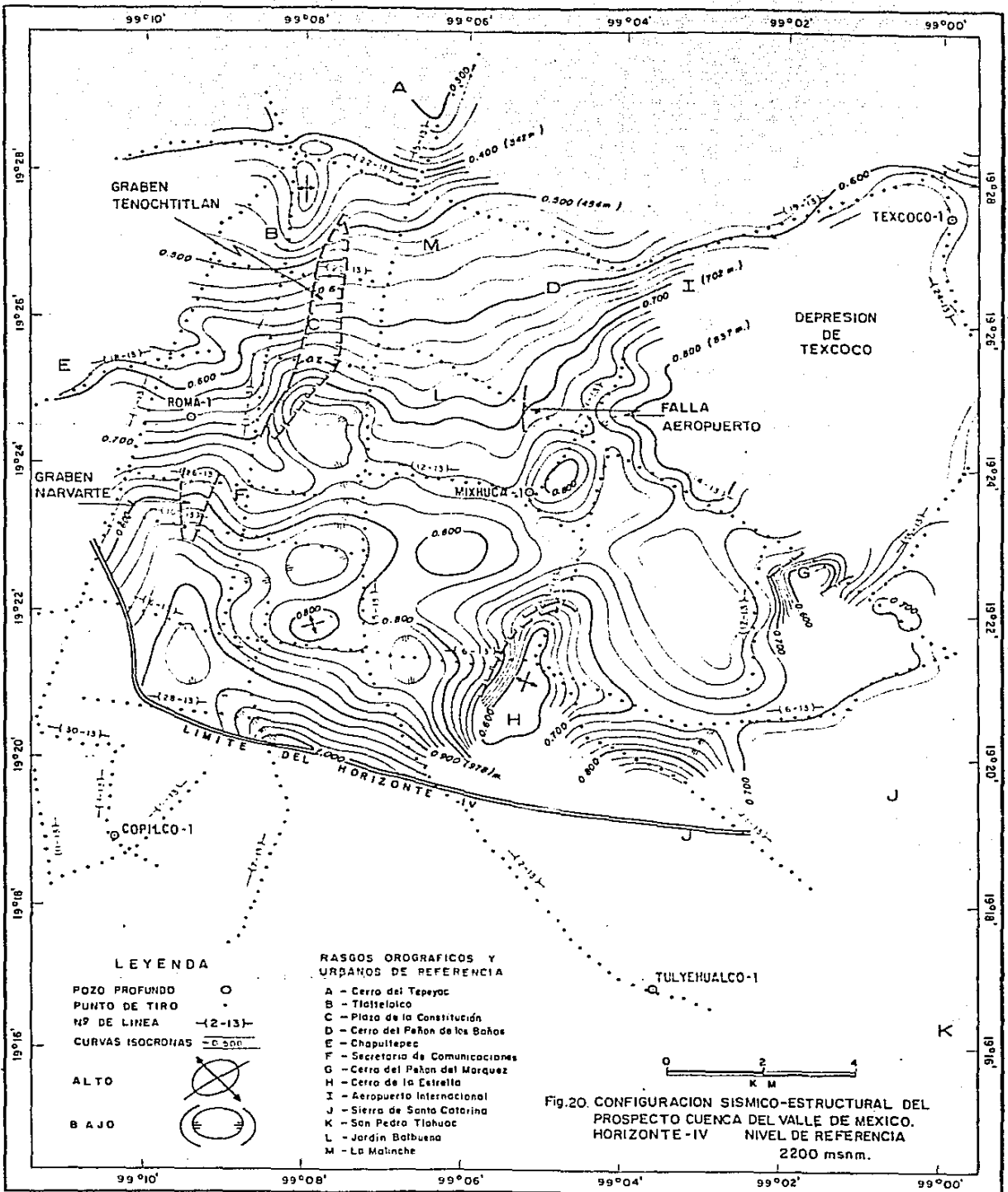
De acuerdo con el mapa de variación de su espesor mostrado en la Figura 19, está presente en la porción norte y central de la zona estudiada. Hacia la parte central se adelgaza y desaparece en acúñamientos hacia abajo, indicando que la fuente de suministro principal de material volcánico con que está asociada estuvo en el Norte. Lo anterior permite inferir que durante el período en que se despositaron los volcanoclasticos de esta secuencia, continuó la tendencia de mayor acumulación de material volcánico en la parte norte de la Ciudad.

Una pendiente hacia el sur domina el mapa de configuración de su cima, mostrado en la Figura 20, que termina con una depresión en la vecindad de la colonia Campestre Churubusco. De las fallas que se muestran en la configuración, las más relevantes son las que forman un graben de orientación norte-sur desde la Colonia Morelos hasta la Colonia Obrera, denominado aquí, Graben Tenochtitlán. El salto de las fallas varía de 50 a 90 m y es hacia el centro de la Ciudad.

Secuencia III

En el pozo Mixhuca-1 está asociada con conglomerados tobáceos y tobas intercaladas con basaltos y brechas, estas últimas con espesor de 90 m. En el pozo Roma-1, con tobas, capas de basalto y brechas volcánicas. En el pozo Copilco-1 con depósitos arcillo-arenosos y arcillas tobáceas con horizontes delgados de basalto de 5 a 10 m de espesor. En el pozo Tulyehualco-1 no está presente.





En la tabla siguiente se consignan las velocidades y densidades de las unidades litológicas de esta secuencia obtenidas de los perfiles sísmicos verticales y los registros sísmicos y de densidad.

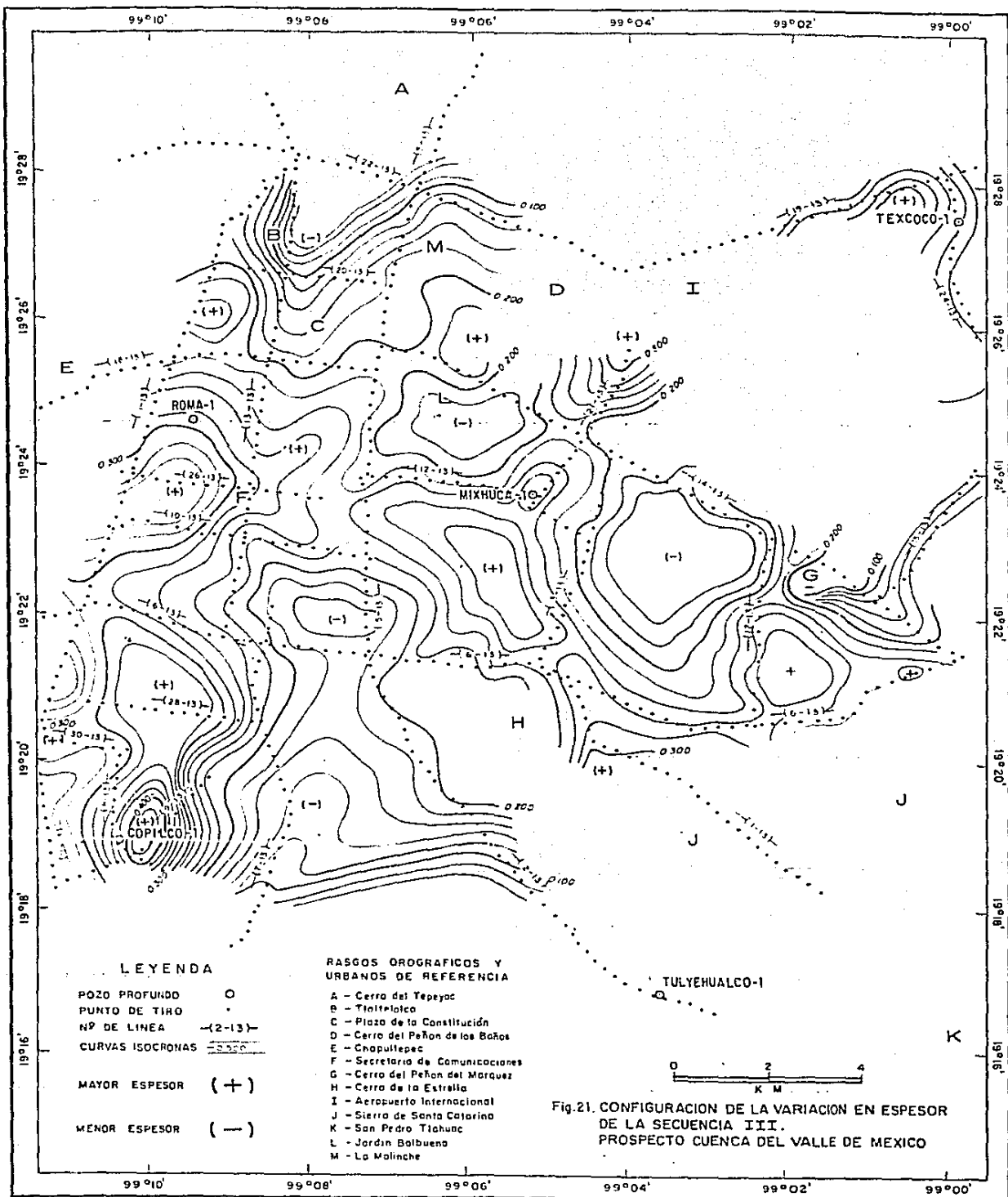
LITOLOGIA	RANGO DE VELOCIDAD	RANGO DE DENSIDAD
	(m/seg)	(gr/cm ³)
Tobas	2,000 - 2,250	1.95 - 2.0
Brechas	2,700 - 3,700	2.0 - 2.3
Conglomerados tobáceos	2,300 - 3,000	1.75 - 2.0
Basaltos	5,100	2.55
Arcillas	2,350	2.0 - 2.1
Arcillas arenosas	2,770	2.0 - 2.2

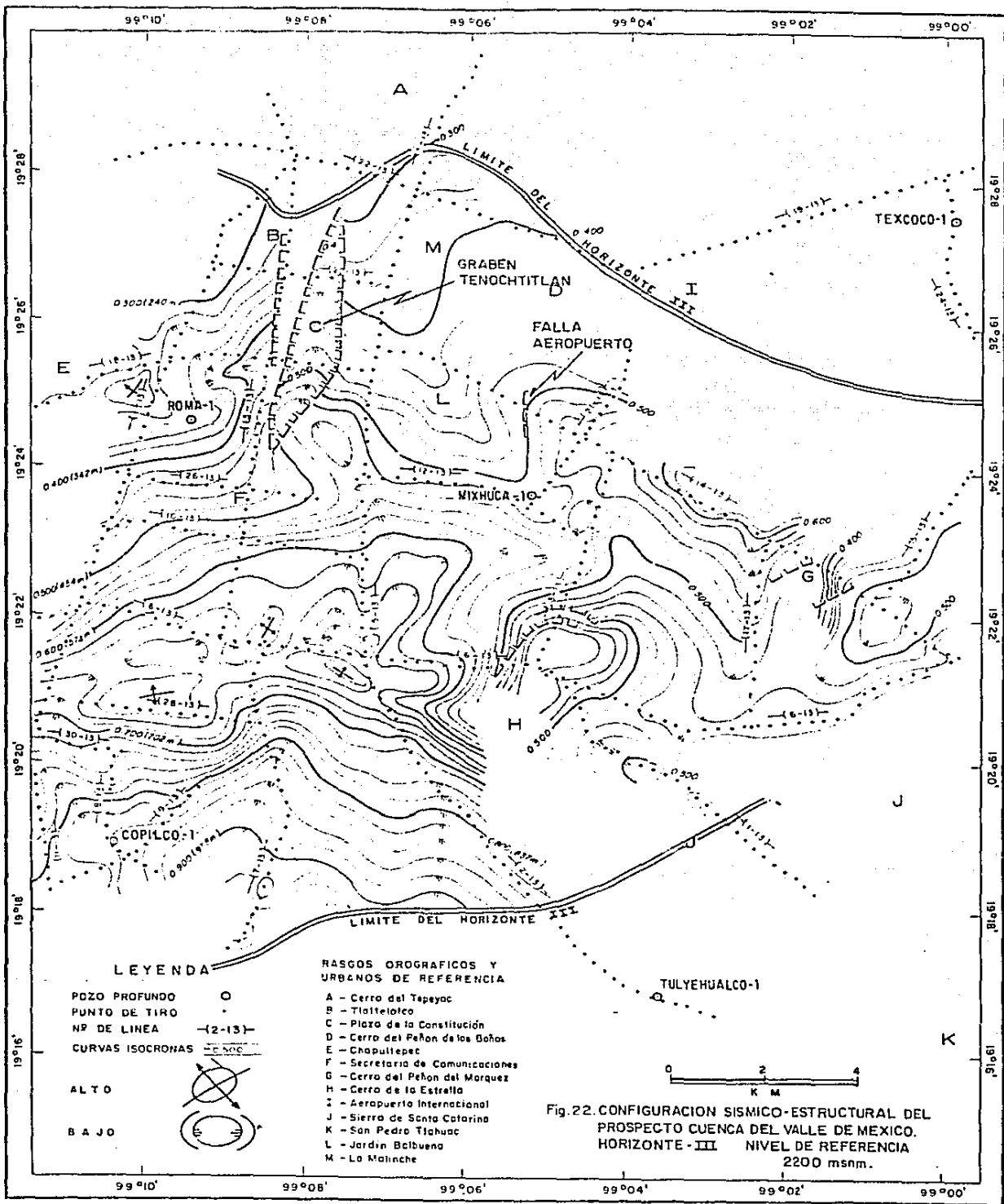
En las secciones del norte de la Ciudad, la Secuencia presenta reflexiones paralelas, continuas, de amplitud media, lo que revela una distribución lateral uniforme de los depósitos volcánicos y gran variedad litológica en sentido vertical. En la parte sur, contiene reflexiones subparalelas discontinuas, de baja amplitud y en ocasiones no contienen reflexiones. Estas características son indicativas de distribución irregular y menor variedad litológica de las rocas con que está asociada. La Secuencia III descansa sobre la Secuencia IV, en ocasiones sobre la V y a veces sobre la VI. Su base, al descansar sobre la secuencia V ó VI, produce los eventos de reflexión de mayor amplitud en todas las secciones sísmicas.

En el mapa de distribución de la Figura 21, es notable su adelgazamiento y desaparición hacia el sureste, desarrollando menor espesor en la margen Occidental de la zona estudiada, lo que indica que la principal fuente de suministro de los materiales que la constituyen estuvo localizada en el Occidente. El mapa de configuración del Horizonte III, de la Figura 22, muestra como rasgos más notables una pendiente hacia el sur que termina en una depresión ubicada entre Copilco y Coapa, y el sistema de fallas que dan lugar al Graben Tenochtitlán, limitado al Oriente por un alto al que por su localización se le ha llamado Alto Balbuena-Malinche. Dado que el relieve de este horizonte es muy similar al del Horizonte IV, se puede inferir que las acumulaciones de material volcánico y la erosión durante el periodo del depósito asociado con la Secuencia III, debieron ser muy uniformes en toda la región estudiada.

Secuencia II

En los pozos Mixhuca-1 y Roma-1 está asociada con depósitos de conglomerados, arenas y arcillas intercalados con tobas y basaltos. Los depósitos conglomeráticos son de 40 m de espesor, teniendo mayor influencia tobácea los del pozo Mixhuca-1. En el pozo Copilco-1 está asociada con tobas y algunas capas de basalto, estas últimas hasta de 50 m de espesor, y con tobas en el pozo Tulyehualco-1. Los conglomerados tienen velocidad de 2,120 m/seg y densidad que varía entre 1.85 y 2.1 gr/cm³. En cambio, las tobas registran velocidad de 2,180 a 2,450 m/seg y densidad promedio de 2.0 gr/cm³. Los basaltos tienen



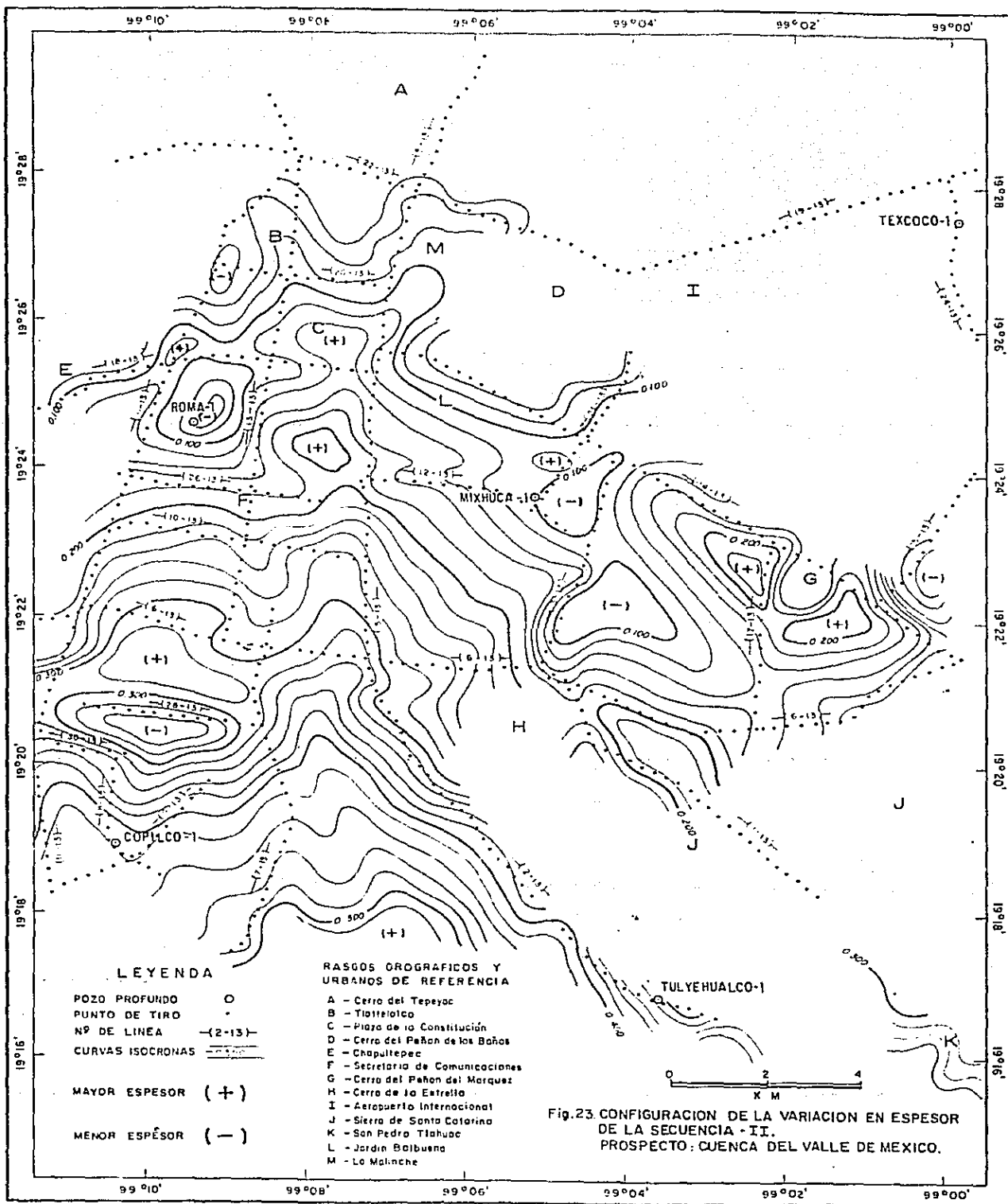


velocidad de 5,100 m/seg y densidad de 2.55 gr/cm³. La edad radiométrica (K/Ar) de una capa de basalto asociada con esta secuencia, en el pozo Copilco-1, a la profundidad de 525m, fue de 761,000 años.

La Secuencia II contiene reflexiones subparalelas discontinuas, con cambios laterales de amplitud y en ocasiones no contiene reflexiones. Como se puede ver en la sección de la Figura 13 y en el mapa de la Figura 23, está distribuida en casi toda la región estudiada, mostrando adelgazamiento mediante acúñamientos hacia arriba (Onlap) en la dirección norte y mayor engrosamiento en la región de Villa Coapa. Los rasgos más notables, presentes en la configuración del Horizonte II, de la Figura 24, son el Graben Tenochtitlán y el Alto Balbuena - Malinche. En la misma configuración, los altos esbozados al poniente de la Ciudad, el Alto Roma - Tulyehualco y el Alto Universidad, interpretados como acumulaciones locales de material volcánico, sugieren que para el periodo en que se formaron los depósitos de esta Secuencia, las fuentes de suministro de material debieron localizarse al Poniente y estar genéticamente relacionadas con las Sierras de Las Cruces y Monte Alto.

Secuencia I

En los pozos Roma-1 y Mixhuca-1 está asociada con conglomerados volcánicos, arenas y arcillas, además de tobas con intercalaciones de basaltos y/o andesitas en menor proporción. En el pozo Copilco-1 con tobas y tobas arcillosas. En el pozo Tulyehualco-1 no está presente.



LEYENDA

- POZO PROFUNDO ○
- PUNTO DE TIRO ○
- Nº DE LINEA (-2-13)
- CURVAS ISOCRONAS
- MAYOR ESPESOR (+)
- MEJOR ESPESOR (-)

RASGOS GEOGRAFICOS Y URBANOS DE REFERENCIA

- A - Cerro del Tepeyac
- B - Tlatelolco
- C - Plaza de la Constitución
- D - Cerro del Peñon de los Baños
- E - Chapultepec
- F - Secretaría de Comunicaciones
- G - Cerro del Peñon del Marquez
- H - Cerro de la Estrella
- I - Aeropuerto Internacional
- J - Sierra de Santa Catarina
- K - San Pedro Tlahuac
- L - Jardin Boluena
- M - La Malinche

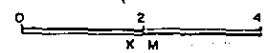
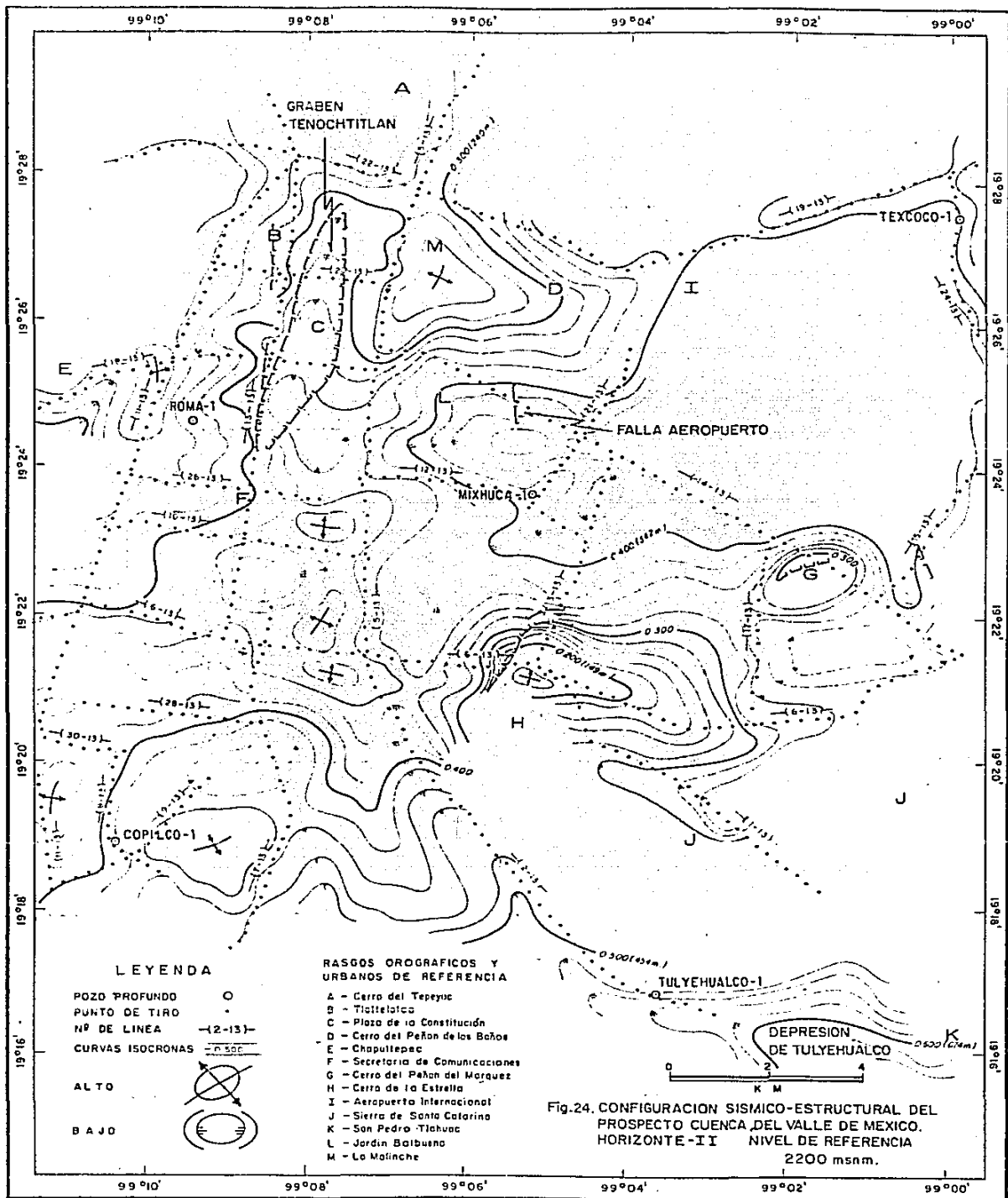


Fig. 23. CONFIGURACION DE LA VARIACION EN ESPESOR DE LA SECUENCIA - II. PROSPECTO: CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.

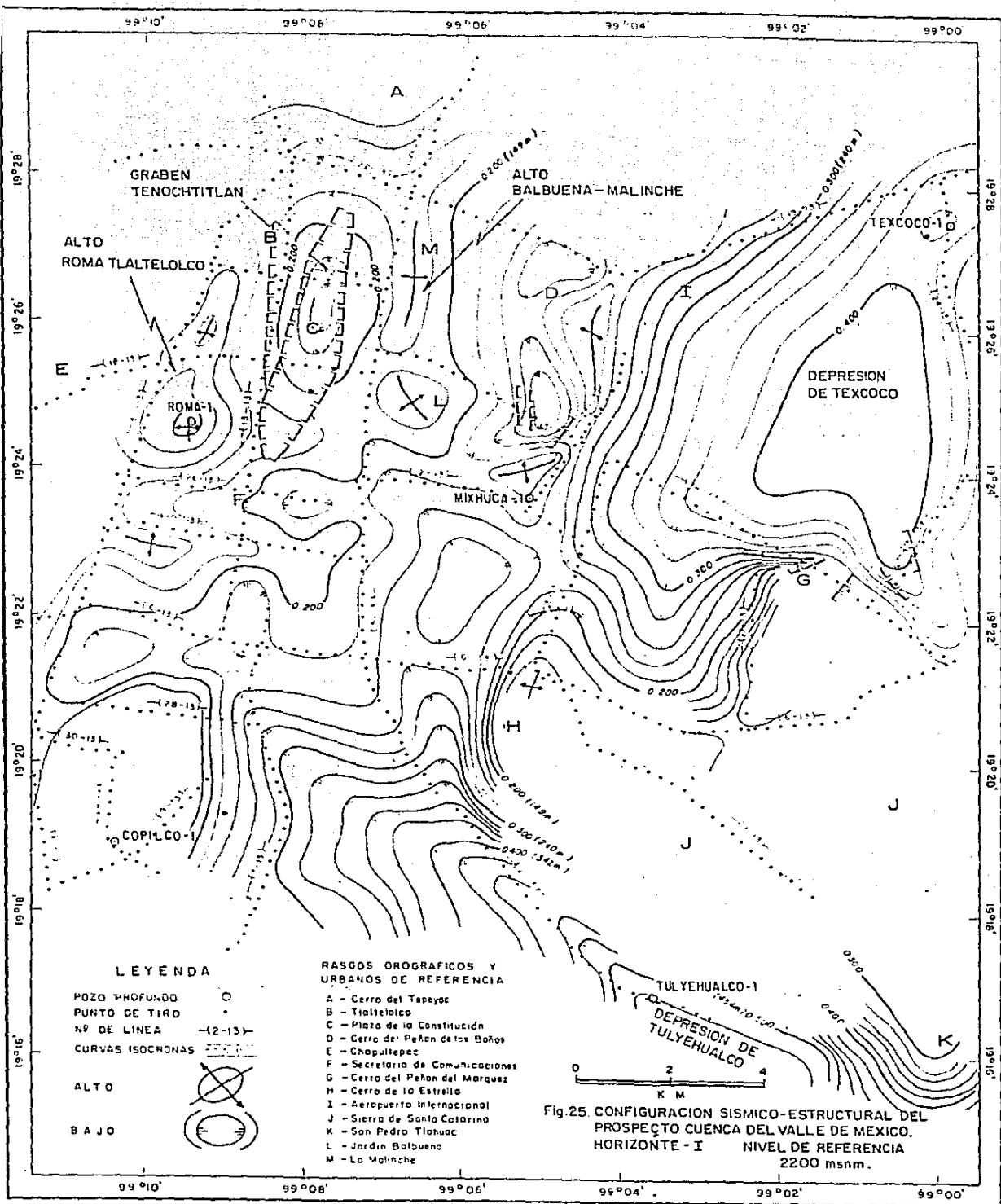


Los cuerpos conglomeráticos son de 50 m de espesor y los de arena de 15 m. La velocidad de los conglomerados varia entre 2,000 y 2,550 m/seg y su densidad es de 2.0 gr/cm³. La velocidad de las tobas en el pozo Copilco-1 es de 2,350 m/seg y densidad promedio de 2.05 gr/cm³.

La Secuencia está constituida por patrones de reflexión subparalelos, discontinuos con variaciones laterales de amplitud, lo que indica distribución irregular de las rocas con las que está asociada. Su distribución es amplia en la región estudiada, desarrollando su máximo espesor (290m) en las cercanías del pozo Copilco-1. Los rasgos de relieve asociados con su cima, observados en el mapa de la Figura, 25 son en esencia, los mismos que afectan el Horizonte II, sobresaliendo el Graben Tenochtitlán.

Secuencia Lacustre

La denominada Secuencia Lacustre se asocia con la unidad litológica más joven y superficial de la zona estudiada. En los pozos donde fué atravesada está constituida por arcillas lacustres, arcillas intercaladas con tobas y por una capa de basalto. Las arcillas lacustres situadas en su parte superior, tienen espesor que en algunos casos, como el del pozo Tulyehualco, llega a ser de 300 m, mientras que el de la capa de basalto varia de 4 a 16 m. El espesor total de la unidad litológica asociada con esta secuencia en los pozos Roma-1, Mixhuca-1 y Tulyehualco-1, fué de 65, 200 y 490 metros, respectivamente. En el pozo Copilco-1 esta unidad no está presente.



De acuerdo con los registros sísmico y de densidad, la velocidad y densidad de los componentes litológicos de la Secuencia Lacustre se muestran a continuación:

LITOLÓGIA	VELOCIDAD m/seg	DENSIDAD gr/cm ³
Arcillas Lacustres	1,550	1.25
Tobas	2,300	1.95
Bacaltes	5,100	2.55

Desde el punto de vista sísmico agrupa patrones de reflexión subparalelos discontinuos, de amplitud media, indicativos de irregularidad en la distribución de los materiales con los que está asociada. Hacia la parte norte de la Ciudad, la unidad litológica relacionada con esta secuencia se adelgaza en tal medida, que llega a estar fuera del límite de detectabilidad y resolución del método sísmico empleado. Su distribución y variación en espesor se puede observar en el mapa de configuración de su base, Figura 25. La Secuencia está presente en casi toda la región estudiada, mostrando engrosamiento general hacia el este y sureste. Las zonas de mayor espesor llegan a ser de 490, 350 y 200 metros, en las cercanías del pozo Tulyehualco-1, al sur del pozo Texcoco-1 y en los alrededores del centro de la ciudad de México, respectivamente. La zona de mayor espesor del Centro de la Ciudad, está limitada al Poniente y Oriente por dos zonas de menor espesor, una que se extiende desde la Colonia Roma hasta Buenavista y otra que se prolonga desde Consulado hasta San Lázaro.

C A P I T U L O I V

RESULTADOS

Para su estudio, el subsuelo de la Ciudad de México, se dividió en ocho secuencias sísmicas que comprenden las rocas continentales del Terciario y Cuaternario, así como las marinas del Cretácico. La profundidad de su cima, espesor y edad, de acuerdo con los pozos de sondeo estratigráfico y la interpretación sísmológica, se presentan en la Tabla I.

CONSTITUCION Y DISTRIBUCION DE LAS ROCAS DEL SUBSUELO

De acuerdo con los estudios petrográficos en muestras de núcleo y de canal de los pozos profundos de la Ciudad de México, están presentes una gran variedad de materiales líticos, incluyendo: arcillas lacustres, tobas, conglomerados, arenas, arcillas, arcillas arenosas, brechas volcánicas y brechas calcáreas, basaltos, andesitas y calizas marinas, siendo las tobas las más abundantes. En la Tabla II se muestra su asociación con cada una de las secuencias sísmicas.

Los conglomerados y arenas están presentes en la porción noroccidental de la región estudiada, asociados con las Secuencias I y II. Se interpretan como el producto de acarrees por corrientes fluviales provenientes del poniente.

PROFUNDIDAD, ESPESOR Y EDAD

SECUENCIA	POZO	COPILCO	TULYEHUALCO	NIXHUCA	ROMA
L A C U S T R E	Cima	-	-	-	-
	Espesor	-	490	200	65
	Edad	-	-	-	-
I	Cima	-	490	200	65
	Espesor	150	20	165	155
	Edad	-	-	-	-
II	Cima	390	510	365	220
	Espesor	535	415	110	90
	Edad	0.75±	-	-	-
III	Cima	925	-	475	300
	Espesor	600	-	360	300
	Edad	-	-	-	-
IV	Cima	-	-	835	500
	Espesor	-	-	355	170
	Edad	-	-	-	-
V	Cima	-	-	-	770
	Espesor	-	-	-	350
	Edad	-	-	-	-
VI	Cima	1 525	925	1 190	1 150
	Espesor	2 610	1 175	385	2 775
	Edad	12.3±1-23.3±1.5	11.8±0.9-15±0.7	21.7±1.3-29±2	8.7±0.7-25.9±2
VII	Cima	4 135	2 100	1 575	3 925
	Espesor	?	?	?	?
	Edad	-	-	82-105	-

NOTA: Los datos de cima y espesor se dan en centos, los de edad en millones de años.

TABLA I PROFUNDIDAD, ESPESOR Y EDAD DE LAS SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS DE LA CD. DE MEXICO

CONSTITUCION LITOLOGICA

SECUENCIA	COPIILCO	TULYEHUALCO	HITRUCA	PONA
Lacustre	Ausente	Arcillas Lacustres (300) Arcillas con Tobas (176) Basaltos (14)	Arcillas Lacustres Arcillas con Tobas Basaltos (12)	Arcillas Lacustres Arcillas con Tobas Basaltos (3)
I	Basaltos (20) Brechas (30) Tobas (80) Tobas Arcillosas (260)	Ausente	Conglomerados Tobáceos (50) Tobas Arcillosas (30-40) Basaltos (10)	Conglomerados (40-50) Arenas (15) Tobas (35)
II	Arcillas (60) Basaltos (130-90) Tobas (220)	Tobas Arcillas (40)	Arcillas Tobáceas (30) Conglomerado Tobáceo (140) Tobas (30)	Conglomerados (40) Tobas (30)
III	Tobas (90) Arcillas Basaltos (10-20) Arcillas arenosas (145) Arcillas Tobáceas (20-150)	Ausente	Conglomerado Tobáceo (30-60) Tobas (45) Brechas (85) Basaltos (16)	Tobas (220) Brechas (10) Basaltos (5)
IV	Ausente	Ausente	Basaltos (20-110) Tobas (25-40) Arenas (95)	Brechas (135) Arcillas arenosas (50)
V	Ausente	Ausente	Ausente	Brechas (135) Tobas (190) Basaltos (5)
VI	Basaltos (1-190) Tobas	Basaltos (1-190) Brecha arenosa (65) Brechas y tobas (160)	Basaltos (15-50) Tobas (30-130)	Brechas y Tobas (100) Basaltos y brechas (280) Tobas y Basalto (1000) Brecha calcárea (45)
VII		Calizas marinas	Calizas marinas	

Nota: Entre paréntesis se consignan los espesores mínimo y máximo, o promedio en metros de las diferentes unidades.

TABLA II CONSTITUCION LITOLOGICA DE LAS SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS DE LA CD. DE MEXICO

Las brechas volcánicas distribuidas en la parte norte y asociadas con las Secuencias III, IV, V y VI, indican que los aparatos volcánicos de los cuales proceden, se ubican casi con exclusividad en la parte norte y noroeste de la región estudiada, ver Figuras 26 y 27. Las rocas efusivas y las tobas están presentes en distinta proporción en todas las unidades asociadas con las secuencias sísmicas, con excepción de la Unidad de Calizas del Cretácico, la cual constituye el basamento de las rocas continentales. Las secuencias Lacustre I, II y III, se adelgaza hacia el Norte; la IV y V hacia el Sur y la VI hacia el Norte, como se puede apreciar en las Figuras 26 y 27.

FUENTE DE SUMINISTRO

Se deduce del análisis de los mapas de espesor que la principal fuente de suministro de los materiales que constituyen la Secuencia I, estuvo en el sur y suroeste de la región estudiada, la de las Secuencias II y III al poniente, mientras que la de las Secuencias IV y V estuvo al Norte y Noroeste.

FACIES SISMICAS

Sísmicamente, dominan los patrones de reflexión subparalelos discontinuos de amplitud media indicativos de variaciones en la distribución de los depósitos asociados con las secuencias sísmicas y de su diversidad en sentido vertical. La Tabla III muestra en síntesis las características de los patrones de reflexión, forma externa y posible fuente de suministro de las secuencias sísmicas de la Ciudad de México.

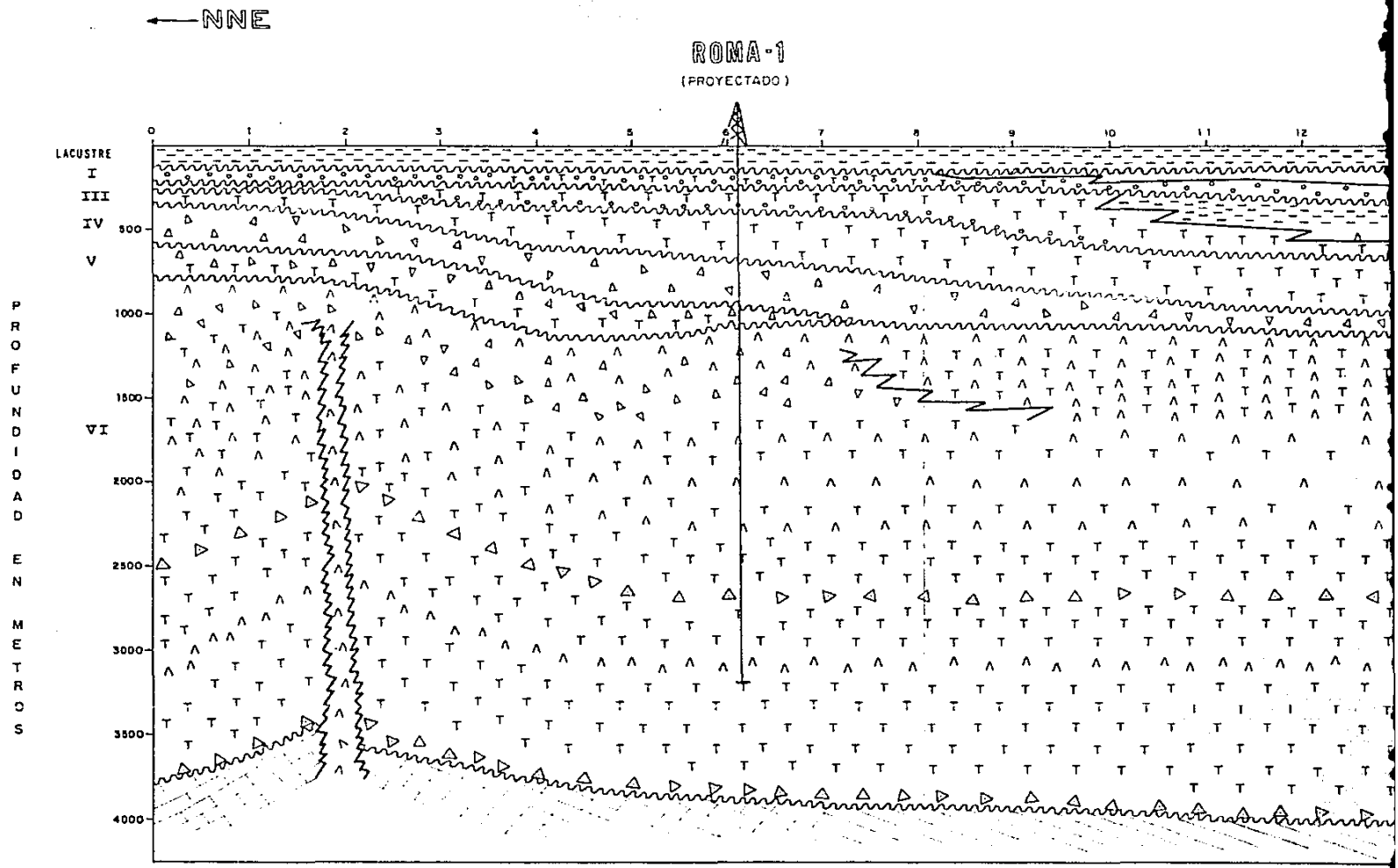
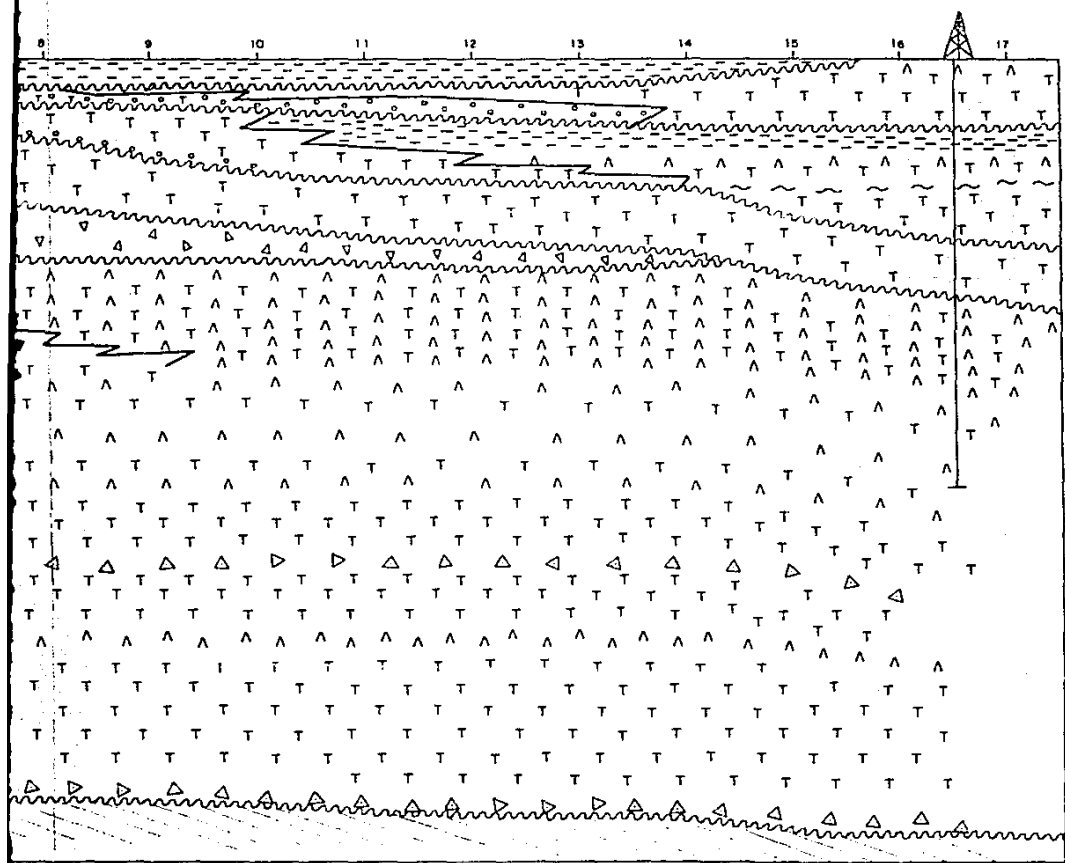


FIGURA 26. SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO A LO LARGO DEL

SSW →
COPILCO - 1
 (PROYECTADO)



LEYENDA

- I
- II ARCILLAS
- III TOBAS
- IV BASALTOS ANDESITAS
- V BRECHAS VOLCANICAS
- VI BRECHAS CALCAREAS
- VII CONGLOMERADOS
- VIII CALIZAS MARINAS
- IX CAMBIO DE FACIES
- X SECUENCIA
- XI DISCORDANCIA



UELO DE LA CIUDAD DE MEXICO A LO LARGO DEL EJE LAZARO CARDENAS

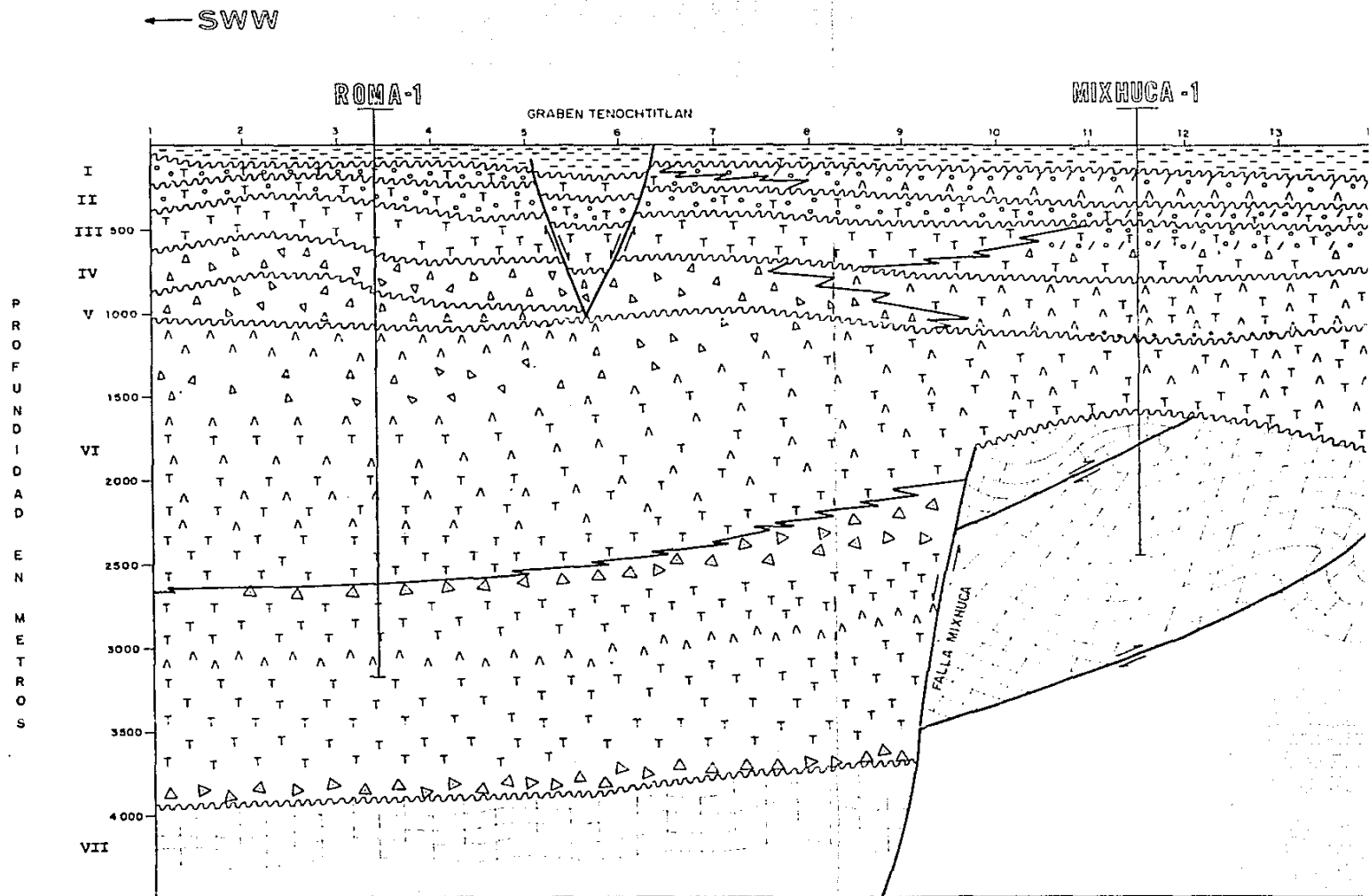
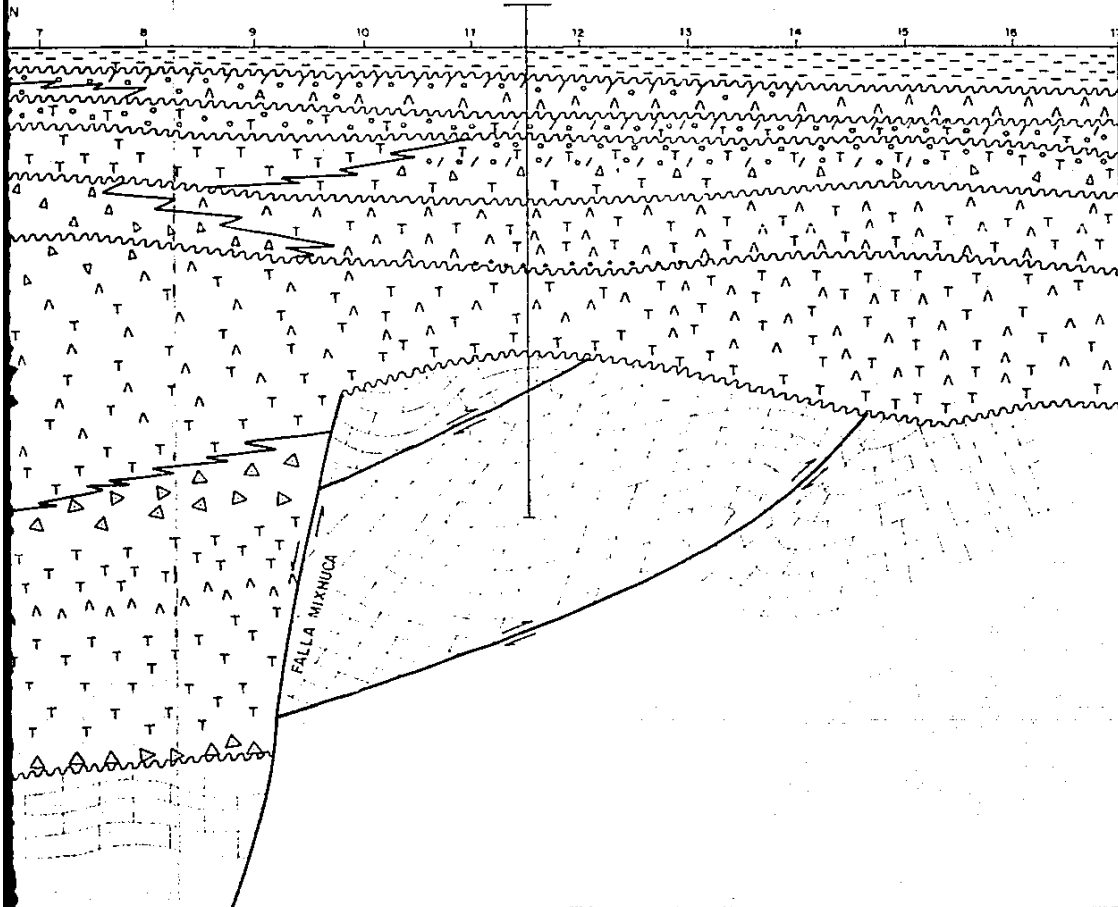


FIGURA 27. SECCION GEOLOGICA DIAGRAMATICA DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO ENTRE LOS POZOS MIXHUCA-1 Y ROMA-1

MIXHUCA-1

NEE →



LACUSTRE

I

II

III

IV

VI

VII

LEYENDA



ARCILLAS



TEPAS



BASALTOS Y ANDESITAS



BRECHAS VOLCÁNICAS



BRECHAS CALCÁREAS



CONGLOMERADOS



CONGLOMERADOS TOBÁCEOS



CALIZAS MARINAS



FALLAS



CAMBIO DE FACIES

V

SECUENCIA Nº V



DISCORDANCIA



ICA DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO ENTRE LOS POZOS MIXHUCA-1 Y ROMA-1

FACIES SISMICAS

SECUENCIA	PATRON DE REFLEXION	FORMA EXTERNA	DISTRIBUCION	FUENTE DE SUMINISTRO
Lacustre	Eventos subparalelos discontinuos de amplitud media	Mantos cuneiformes	Mayor espesor en Chalco Tochimilco, Texcoco y centro de la ciudad	Aparatos volcánicos de Sierra de Chichinautzin en ambiente lacustre
I	Eventos subparalelos discontinuos, amplitud media y baja	Mantos cuneiformes	Mayor espesor al sur de Ciudad Desaparición hacia el N	Aparatos volcánicos de la Sierra de Chichinautzin
II	Eventos subparalelos discontinuos de baja Ampl. Localmente no contiene reflexiones	Mantos cuneiformes	Mayor engrosamiento al W S. y desaparición al N en acuñaamiento hacia arriba	Aparatos volcánicos de W y SW de la ciudad (Sierra de Las Cruces)
III	Eventos paralelos Cent., Amplitud media, al sur subparalelos de baja amplitud	Mantos cuneiformes	Mayor espesor al W Desaparece el acuñaamiento hacia abajo al SE	Aparatos volcánicos del NW y W de la ciudad (Sierra de Montealto y Las Cruces)
IV	Eventos subparalelos Disc. y ondulados de Baja Ampl. Localmente no contiene Reflex.	Mantos cuneiformes	Mayor espesor en el norte se adelgaza y desaparece al sur por acuñaamiento hacia abajo	Aparatos volcánicos del norte de la ciudad (Sierra de Guadalupe)
V	Eventos subparalelos discontinuos amplitud media	Mantos cuneiformes	Esta restringida al NW de la Cd. se adelgaza hacia el NE, SW y E acuñaamientos hacia abajo	Aparatos volcánicos en cercanías de Tlatelolco (Sierra de Guadalupe)
VI	Eventos cádlicos al N Discontinuos subparalelos de baja amplitud en resto de ciudad	Mantos	Está presente en toda la región con mayor espesor al poniente de la ciudad	Aparatos volcánicos del norte de la ciudad (Sierra de Guadalupe)
VII	Eventos cádlicos Algunas veces paralelos discontinuos baja Amplitud	-	Se espesa está presente en toda la región estudiada formando el basamento de secuencias volcánicas y aluviales	

TABLA III FACIES SISMICAS DE LA CIUDAD DE MEXICO

VELOCIDAD Y DENSIDAD

Los parámetros acústicos como son velocidad y densidad de los componentes litológicos del subsuelo de la Ciudad de México, se consignan en la Tabla IV y en las Figuras 28 y 29, en donde se puede observar que:

- 1) Los valores más bajos de velocidad y densidad corresponden a las arcillas lacustres siendo de 880 a 1,550 m/seg y 1.25 gr/cm³.
- 2) Los valores más altos, a las calizas marinas del Cretácico de 6,000 m/seg y 2.7 gr/cm³.
- 3) Las rocas con rango más amplio de variación son las tobas, ya que van de 2,000 a 4,600 m/seg y de 1.75 a 2.65 gr/cm³.
- 4) Los basaltos poseen rangos de velocidad y densidad también estrechos y muy diferentes al resto de otras unidades litológicas, y son de 5,000 a 5,500 m/seg y de 2.55 a 2.7 gr/cm³.

ESTRUCTURA Y RELIEVE

Debido a la importancia que reviste la presencia de ciertos rasgos estructurales y de relieve, tales como fallas, depresiones y altos asociados, para la evaluación del riesgo sísmico en la Ciudad de México y su zona conurbada, a continuación se mencionan los más importantes al ser identificados mediante la información sismológica, ver Tabla V.

T A B L A IV

VELOCIDAD Y DENSIDAD DE LOS COMPONENTES LITOLÓGICOS DE LA CIUDAD DE MEXICO

LITOLOGIA	SECUENCIA	VELOCIDAD (m/seg)	DENSIDAD (gr/cm ³)
Arcilla lacustre	Lacustre	800	?
Arcilla lacustre	Lacustre	1,550	1.25
Tobas	Lacustre	2,300	1.85
Basaltos	Lacustre	5,100	2.55
Conglomerados	I	2,000 - 2,550	2.00
Tobas	I	2,350	2.05
Conglomerados	II	2,120	1.85 - 2.1
Tobas	II	2,150 - 2,450	2.00
Basaltos	II	5,100	2.55
Tobas	III	2,000 - 2,150	1.95 - 2.00
Brechas volcánicas	III	2,700 - 3,700	2.00 - 2.30
Conglomerados	III	2,300 - 3,000	1.75 - 2.00
Basaltos	III	5,100	2.55
Arcillas	III	2,350	2.00 - 2.10
Arcillas arenosas	III	2,770	2.00 - 2.20
Arenas	IV	2,180 - 2,900	1.90 - 2.00
Tobas	IV	3,550	2.20 - 2.40
Brecha volcánica	IV	2,750	2.00 - 2.25
Arcillas arenosas	IV	2,200	2.00
Basalto	IV	5,500	2.65
Tobas	V	2,900	2.10 - 2.20
Brechas volcánicas	V	2,500 - 2,680	2.00
Basaltos	VI	5,100	2.60 - 2.70
Tobas	VI	2,650 - 4,690	2.0 - 2.65
Calizas	VII	6,000	2.7
Brechas calcáreas	VI	5,080 - 5,860	2.50 - 2.70
Brechas volcánicas	VI	3,050 - 3,390	2.30 y 2.45

VELOCIDAD DE LOS COMPONENTES LITOLÓGICOS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

DATOS TOMADOS DE LOS REGISTROS
SÓNICOS Y PERFILES SÍSMICOS
VERTICALES DE LOS POZOS DE
LA CIUDAD

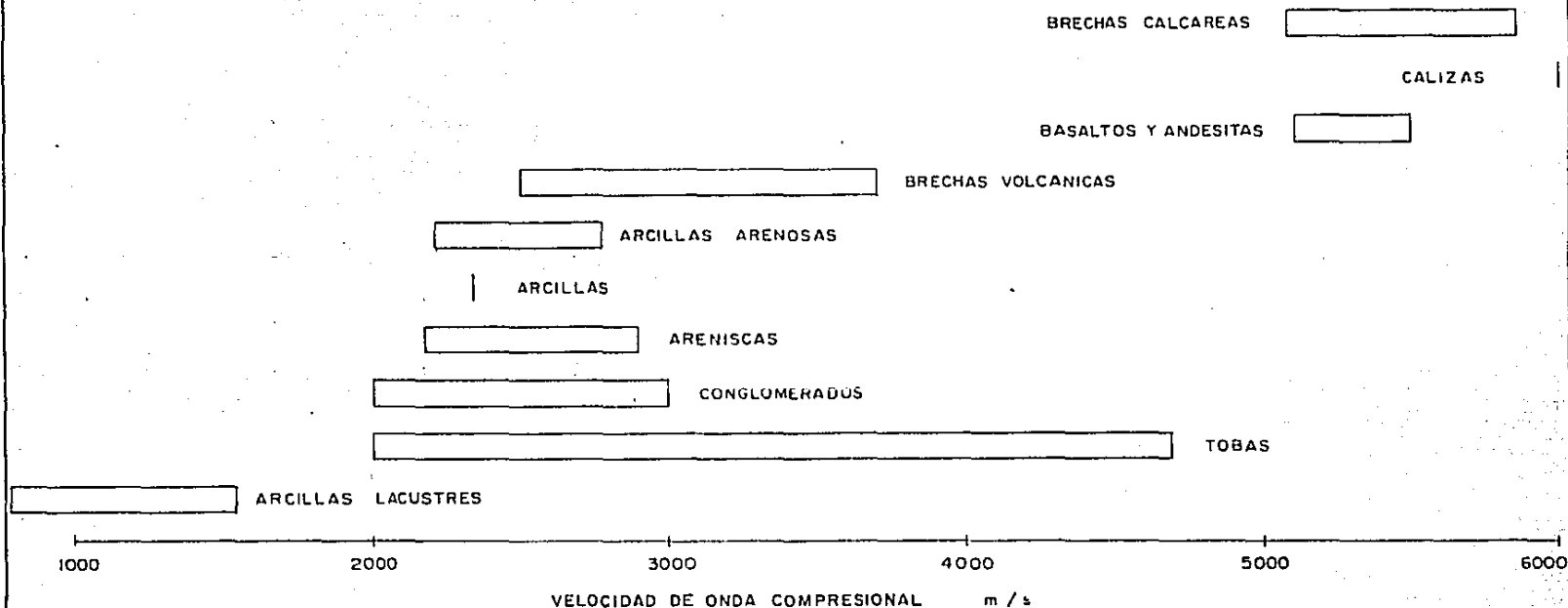


FIGURA 28

DENSIDAD DE LOS COMPONENTES LITOLÓGICOS DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

DATOS TOMADOS DE LOS REGISTROS DE DENSIDAD COMPENSADA DE LOS POZOS DE LA CIUDAD.

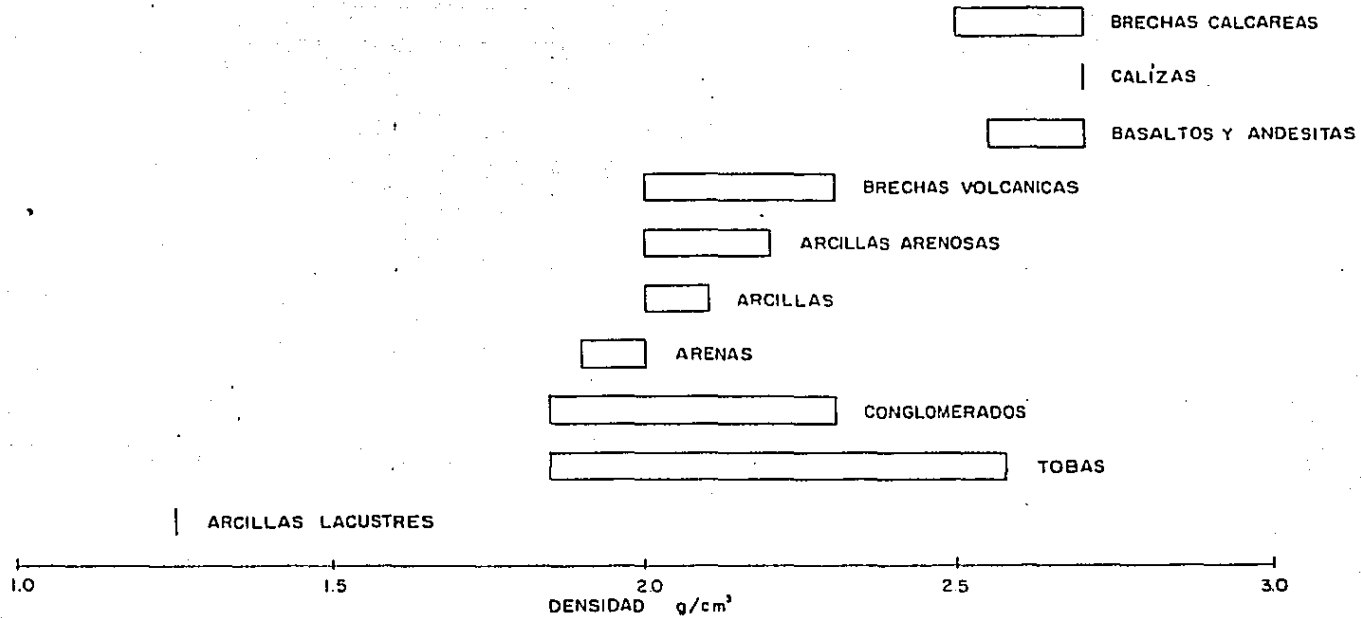


FIGURA 29

ESTRUCTURA Y RELIEVE

ALTOS

Por Acumulación:

- Alto Tepeyac H-VI (subcircular)
- Alto Pora-Platelolco H-V, H-II, H-I (N-S)
- Alto Balbuela-Malinche H-III, H-II, H-I (N-S)
- Alto Universidad H-II, H-I (subcircular)

Estructurales:

- Alto Mixhuca H-VII (N-S)
- Alto Peñón del Marqués H-VII, H-VI, H-IV, H-II, H-I (subcircular)
- Alto Aco H-VII, H-VI, H-IV, H-III, H-II, H-I (subcircular)
- Alto Mixcoac H-VII (subcircular)

DEPRESIONES Y GRABENS

- Depresión de Copilco-Coapa H-VII, H-III (subcircular)
- Depresión Col. Nagoles H-VII
- Graben Copilco H-VI (subcircular)
- Depresión Caepastre-Churubusco H-IV (NW-SE)
- Graben Tenochtitlan H-IV, H-III, H-II (N-S)
- Depresión de Texcoco H-VI, H-IV, H-II, H-I, H-VII (subcircular)
- Depresión Tulyehualco H-II, H-I (NW-SE)
- Depresión del S del aeropuerto H-I (N-S)

FALLAS

A	Falla Mixhuca	NW-SE	caída al N	salto 1,650 a 2,050 m	H-VII
A	Fallas del Graben Copilco	NNE-SW	salto 130 m		H-VI
A	Falla del Graben Narvarte	N-S	salto 30 m		H-VI
C	Fallas del Cerro Marqués	NE-SE	salto 30 m		H-VI, H-IV, H-III, H-II, H-I
C	Fallas del Cerro de la Estrella	NE-SW	salto 30 m		H-VI, H-IV, H-III, H-II, H-I
B	Fallas del Graben Tenochtitlan	N-S	salto 50 a 90 m		H-IV, H-III, H-II, H-I
E	Falla aeropuerto	N-S	caída al E	salto 30 m	H-IV, H-III, H-II, H-I

Nota: H-I indica que el rasgo referido está presente en el horizonte I.
(N-S) indica que su dirección es norte sur.

TABLA V ESTRUCTURA Y RELIEVE DEL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Altos

Los Altos presentes a diferentes niveles en la región estudiada, de acuerdo con su origen, pueden clasificarse en altos estructurales y altos producidos por acumulaciones locales de material de origen volcánico. Dentro de los altos estructurales quedan comprendidos los Altos Mixhuca, Mixcoac, Xico, Cerro de la Estrella y Peñón del Marqués. Los tres últimos se diferencian de los dos primeros en que éstos se formaron entre el Paleoceno y el Mioceno, mientras que los dos primeros son de origen reciente, ya que están presentes en todos los horizontes. Los altos producidos por acumulación de material volcánico son el Alto Tepeyac presente en el Horizonte VI, y los Altos Roma-Tlatelolco y Balbuena-Malinche presentes en los Horizontes I, II y III.

Depresiones

Las depresiones más importantes en los Horizontes profundos VII y VI, se esbozan al sur y poniente de la Ciudad, incluyendo las de la Colonia Nápoles, Copilco y Tulyehualco. A partir del Horizonte III, las depresiones de mayor importancia se esbozan en Tulyehualco, Texcoco y al centro de la Ciudad.

Fallas

Las fallas identificadas mediante las secciones sísmicas son todas de tipo normal o de gravedad y se pueden clasificar en tres tipos:

- A) Fallas que sólo afectan a la parte inferior de la columna litológica.

- B) Fallas que sólo afectan a la parte superior de la columna litológica.
- C) Fallas que afectan a toda la columna litológica.

Las fallas del tipo "A" dejaron de ser activas desde el Mioceno y se manifestaron solamente en los Horizontes Profundos VII, VI, V y IV, éstas son:

- 1) La Falla Mixhuca, presente solamente en el Horizonte VII y muy posiblemente en la base de la Secuencia VI, atraviesa la Ciudad de NW a SE, pasa por las Colonias Vallejo, San Lázaro y San Lorenzo Tezonco entre otras, y tiene salto al Poniente que varía entre 1,650 y 2,050 metros.
- 2) Las fallas del Graben Copilco de corta longitud, de orientación tentativa N-S y salto promedio de 130 m que afectan al horizonte VI, en las cercanías del pozo Copilco-1.
- 3) Dos fallas de corta longitud, de orientación tentativa N-S y salto aproximado de 30 m que forman bajo la Colonia Narvarte el graben del mismo nombre, afectando los Horizontes VI, V y IV.

Las fallas del Tipo "B" son:

- 1) La Falla Aeropuerto de corta longitud de orientación tentativa N-S con salto aproximado de 20 m al Oriente, presente en la Calzada Ignacio Zaragoza, al Sur del aeropuerto, que afecta los Horizontes I, II, III y IV, acompañada por:
- 2) Dos fallas con salto aproximado de 20m al Poniente que dan lugar al Graben Aeropuerto y afectan solamente el Horizonte I.

3) Dos fallas de corta longitud, de orientación tentativa N-S y salto aproximado de 30 m que forman un graben al oriente del Peñón del Marqués y sólo afectan los Horizontes I y II.

4) De gran importancia es el sistema tentativo de fallas normales con salto entre 40 y 90m, que atraviesa el centro de la Ciudad formando el Graben Tenochtitlán y se extiende desde el Viaducto Piedad hasta la Colonia Morelos, sobre la depresión del antiguo Lago de la Ciudad de México.

Se interpreta que las fallas del tipo "B" deben su origen a desplazamientos en zonas de inestabilidad como son los flancos de algunos de los altos definidos. Por ejemplo, la Falla Aeropuerto es una zona en la que ocurre deslizamiento de materiales a lo largo del flanco suroriental del Alto Tepeyac identificado en el Horizonte VI. Por su parte, las fallas asociadas con la depresión del centro de la Ciudad son zonas de deslizamiento de material volcánico en los flancos de los Altos Roma-Tlatelolco y Balbuena-Malinche en los Horizontes I, II y III.

Las fallas de tipo "C" son las fallas localizadas alrededor del Cerro de la Estrella y el Peñón de los Baños, que deben su origen a movimientos verticales de la corteza superior que han dado lugar a emplazamiento reciente de material volcánico a la superficie.

C A P I T U L O V

- CONCLUSIONES -

Se ha propuesto un modelo geológico del subsuelo de la Ciudad de México, basado en la interpretación de los datos sísmicos de reflexión y la perforación de los cuatro pozos de sondeo estratigráfico. El modelo incluye, en primer lugar, la división de las rocas del subsuelo, de acuerdo con sus características petrográficas y geocronológicas, en cuatro unidades estratigráficas, que son: Unidad de Arcillas Lacustres, Unidad Volcánica Superior, Unidad Volcánica Inferior y Unidad de Calizas del Cretácico. El modelo propone adicionalmente, mediante la interpretación sísmica, la subdivisión de la Unidad Volcánica Superior en cinco secuencias estratigráficas. Su distribución, espesor, fuente de suministro, relieve y estructura fueron también investigadas, identificando en el subsuelo zonas afectadas por altos, hajos, fallas, fuertes pendientes y mayor o menor espesor de las secuencias volcánicas.

Mediante el análisis de distribución y espesor de las secuencias sísmicas, se deduce que las fuentes de suministro y por lo tanto, los centros de actividad volcánica en los alrededores de la Ciudad de México, han migrado considerablemente desde el Mioceno hasta el presente.

Se infiere que la actividad volcánica del Mioceno se inició en el norte de la Ciudad para formar la Sierra de Guadalupe, continuando durante el Plioceno en el Poniente para formar las sierras de Monte Alto y las Cruces, y finalizando en el Pleistoceno y Reciente en el Sur para formar las sierras del Chichinautzin y Santa Catarina.

Son de particular interés, por las razones que motivaron la realización de los estudios geológicos y geofísicos en la Ciudad de México, por un lado, las propiedades físicas y estructura de las rocas calcáreas que forman una unidad relativamente homogénea de propiedades acústicas contrastantes con el resto de las rocas que la sobreyacen, y por otro, las propiedades físicas, espesor y relieve de la unidad de arcillas lacustres; características que se cree contribuyeron a la amplificación y duración anómala de los movimientos del suelo de la ciudad durante los sismos de septiembre de 1985.

Dentro de la estructura cretácica, el Alto Mixhuca por su orientación constituye un gigantesco bloque contra el que las ondas sísmicas generadas por terremotos con dirección de propagación dominante oeste-este, pueden sufrir fenómenos de reflexión, refracción y difracción hacia la superficie que podrían contribuir a la amplificación y duración de los movimientos del suelo de la Ciudad.

Por su parte, las zonas de mayor espesor de la Secuencia Lacustre, tradicionalmente consideradas como zonas de alto

riesgo sísmico por las propiedades físicas y comportamiento inelástico de sus constituyentes, fueron localizadas en el centro de la Ciudad, al sur del aeropuerto, en la región del Lago de Texcoco y en la región del antiguo Lago de Chalco-Xochimilco. La zona del centro de la ciudad, considerada la más importante por la densidad y magnitud de construcciones en ella edificadas, se extiende desde la Colonia Morelos hasta la Obrera y del Eje Lázaro Cárdenas a la Avenida Morazán. Las zonas de inestabilidad y deslizamiento de los materiales que constituyen a la Secuencia Lacustre fueron localizadas en los flancos de altos preexistentes, como son el flanco oriental del Alto Roma-Tlatelolco y los flancos oriental y occidental del Alto Balbuena-Malinche, asociados con fallas normales de salto variable entre 30 y 90 metros.

Aunque los objetivos de este trabajo fueron cumplidos satisfactoriamente, el subsuelo de la Ciudad de México, como muchas otras regiones, todavía guarda grandes secretos que podrán ser descubiertos conforme se llevan a cabo los trabajos de interpretación integrada de la información proporcionada por los sondeos estratigráficos, estudios sísmicos de reflexión y refracción, y por el estudio geoelectrico de resistividad. La información de esta forma interpretada junto con datos geotécnicos y de sismicidad, podrá ser usada en la correcta evaluación del riesgo sísmico y adecuación de reglamentos de construcción que garanticen seguridad a los habitantes de la gran metrópoli ante la ocurrencia inminente de terremotos de distintas características.

A P E N D I C E

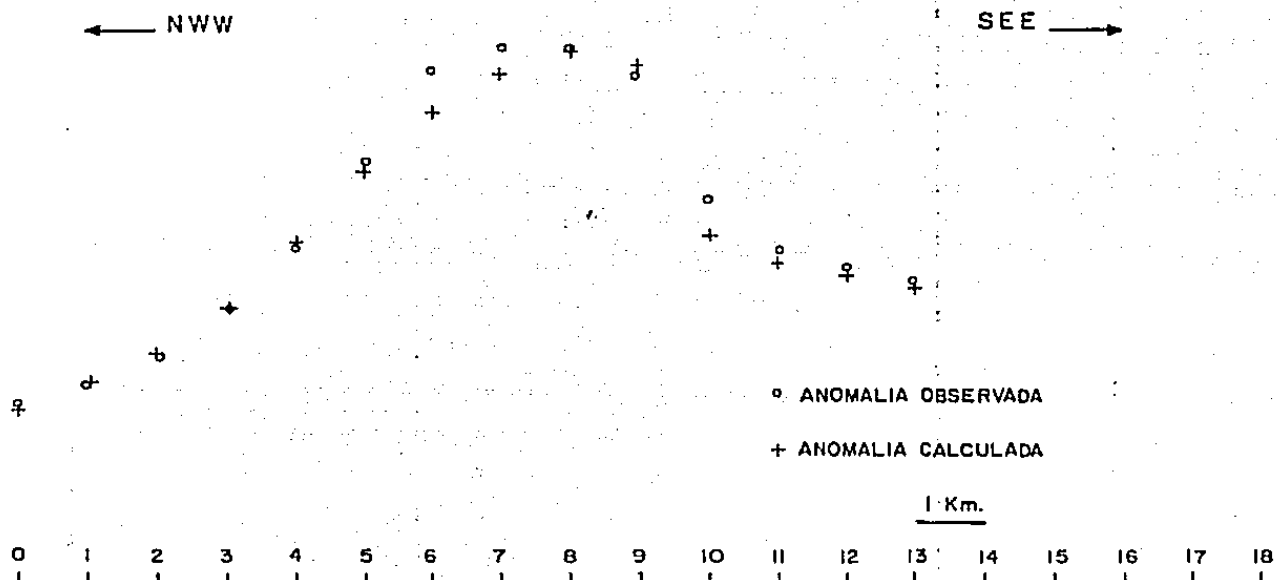
Como se mencionó en el Capítulo I, gran parte de las anomalías del mapa gravimétrico de la Ciudad de México, pueden ser explicadas como debidas a la distribución actual de rasgos topográficos positivos y a la distribución de los depósitos lacustres. Sin embargo, existen otras anomalías como son la prolongación hacia el sur del Máximo Guadalupe y el gradiente asociado a su flanco occidental. El objetivo de este apéndice es tratar de explicarlas, en relación con rasgos estructurales profundos como son el Alto y la Falla Mixhuca.

Sobre el mapa de la Figura A1, se han trazado los perfiles en los que se construyeron modelos del subsuelo. Su interpretación fue realizada empleando el algoritmo de Talwani et al, 1959 y tomando en cuenta los datos de los registros de densidad compensada de los pozos Mixhuca-1 y Roma-1, así como los datos de profundidad y estructura tomados de las secciones sísmicas.

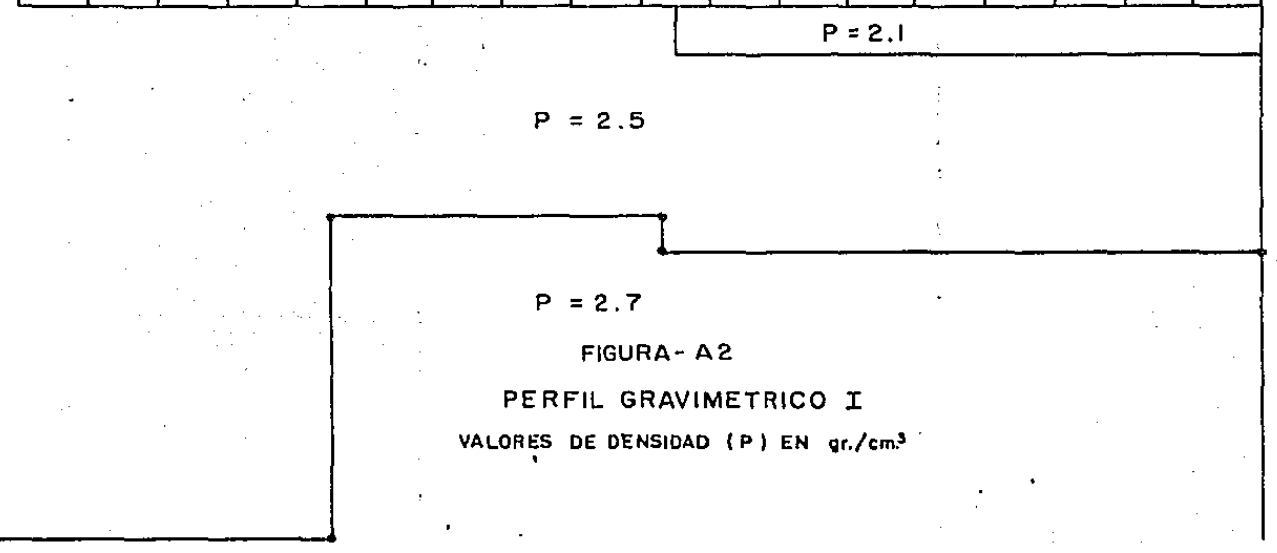
En el perfil I-I' de la figura A2, trazado desde Chapultepec hasta las cercanías del pozo Texcoco-1, el efecto gravimétrico puede explicarse mediante un modelo muy simple el cual está constituido por tres cuerpos, listados a continuación:

ANOMALIA GRAVIMETRICA MGS

26
24
22
20
18
16
14
12
10
0
0
1
2
3
4



PROFUNDIDAD KMS



<u>CUERPO No.</u>	<u>DENSIDAD (G/CM³)</u>	<u>CORRESPONDENCIA CON</u>
1	2.7	Unidad de Calizas del Cretácico
2	2.5	Unidades Volcánicas y Arcillosas
3	2.1	Unidad de Arcillas Lacustres

El flanco oriental de la anomalía positiva del perfil I-I', se puede relacionar con una discontinuidad en la cima del cuerpo 1. Por su parte, el flanco occidental de la anomalía positiva, se puede relacionar con una discontinuidad considerable de la cima del cuerpo 1; rasgo que es relacionado geológicamente con la que aquí se ha llamado Falla Mixhuca.

Un modelo más completo se ha construido a lo largo del perfil II-II' mostrado en la figura A3, que pasa por los pozos Soma-1 y Mixhuca-1. Se observa que la respuesta gravimétrica está controlada principalmente por los cuerpos relacionados con la Unidad de Calizas y con la Unidad de Arcillas Lacustres. También aquí, se hace necesario recurrir a una solución que contenga una discontinuidad considerable en la cima del cuerpo de mayor densidad, relacionada con la Falla Mixhuca.

La interpretación cualitativa del mapa gravimétrico de la Ciudad de México, está muy lejos del objetivo de la presente tesis. Aquí únicamente se han manejado algunos datos de densidad y profundidad de las rocas del subsuelo, para ajustar

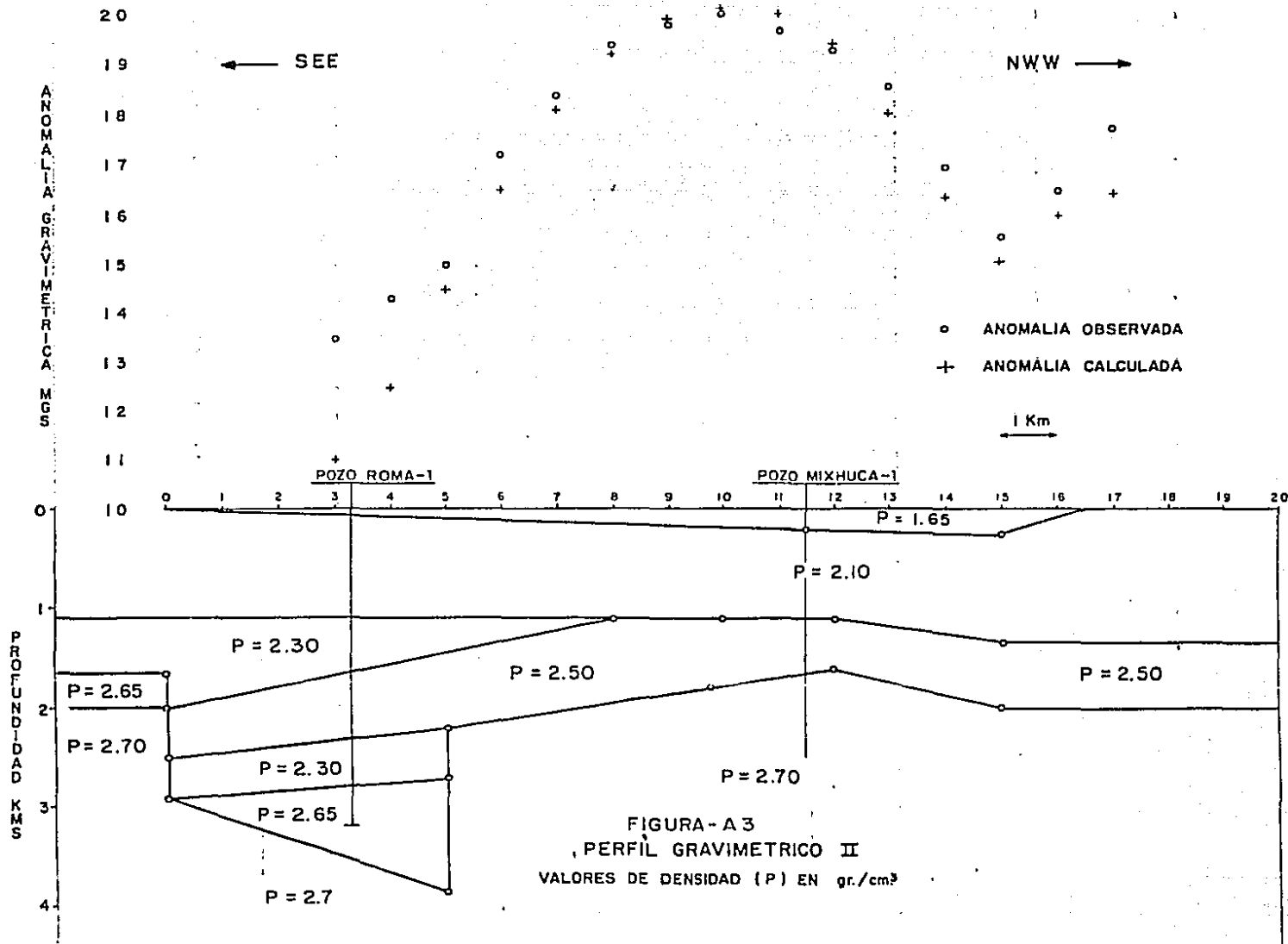


FIGURA-A 3
 PERFIL GRAVIMETRICO II
 VALORES DE DENSIDAD (P) EN gr./cm³

Las anomalías a lo largo de perfiles cortos, con lo que se pretende dar soporte adicional a la hipótesis de la existencia en el subsuelo de la Falla Mishuda.

REFERENCIAS

- BEGG, J.L. y HALL, J.F. 1966 Factors contributing to the catastrophe in Mexico City during the earthquake of september 19, 1965
Geophysical Research Letters Vol. 13 No. 6 p. 593-596
- BELOUSOV, V. 1979 Geología Estructural. Editorial MIR. Moscú p. 122-164
- DEMANT, A. 1978 Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus Problemas de Interpretación
Rev. Inst. Geol. UNAM., Vol. 2, p. 172-187.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, SECRETARIA DE OBRAS. Información Litoestratigráfica, Sistemas de Pozos Profundos. Inédito.
- ESSLER, H., ASTIZ, L., KANAMORI, H. 1966 Tectonic setting and source parameters of september 19, 1965 Michoacan, Mexico earthquake
Geophysical Research Letters Vol. 13 No. 6 p. 569-572
- HOUSTON, H. y KANAMORI, H. 1966 Source characteristics of the 1965 Michoacan, Mexico earthquake at periods of 1 to 30 seconds
Geophysical Research Letters Vol. 13 No. 6 p. 597-600
- MARGAL R. y MAZARI A. 1969 El subsuelo de la Ciudad de México
Facultad de Ingeniería, UNAM
- MELLI, P.F. 1966 Efectos de los sismos de septiembre en las construcciones de la Ciudad de México. Aspectos estructurales. En Memorias de la Mesa Redonda sobre los sismos de septiembre de 1965. Academia Mexicana de Ingeniería.
- MITCHUM, R.M., VAIL, P.R. y THOMSON, S. 1977. Depositional sequences as a basic unit for stratigraphic analysis. En Seismic Stratigraphy, Memoir 26 AAPG p. 53-62
- MITCHUM, R.M., VAIL, P.R. y SANGREE, J.B. 1977a Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences
En Seismic Stratigraphy, Memoir 26 AAPG p. 117-133
- MITCHUM, R.M. y VAIL, P.R. 1977 Seismic stratigraphic interpretation procedures.
En Seismic Stratigraphy, Memoir 26 AAPG p. 135-143
- MOOSER, F. 1975 Historia Geológica de la Cuenca de México, D.F. en Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal Tomo I, p. 7-36.

HOOPER, G., NAIRN, A.E. Y HERGENROT, J.F. 1974. Paleomagnetic Investigations in Tertiary and Quaternary Igneous Rocks. VIII A. Paleomagnetic and Petrological Study of Volcanic of the Valley of Mexico. Geol. Rundschau Vol. 63, p. 451-483.

ORTIZ DE L., A.R. 1970. El Conglomerado Texcoco y el posible origen de la Cuenca de México. Rev. I.M.F., Vol. p. 5-20.

PETROLEOS MEXICANOS 1987. Estudio Geológico y Geofísico del Subsuelo de la Ciudad de México. Inédito.

PETROLEOS MEXICANOS/GEASA 1987. Evaluación Geológica Económica Petrolera del Eje Neovolcánico Mexicano. Inédito.

PETROLEOS MEXICANOS 1987. Informe Geológico Final del Pozo Copilco-1. Inédito.

PETROLEOS MEXICANOS 1987. Informe Geológico Final del Pozo Mixhuica-1. Inédito.

PETROLEOS MEXICANOS 1987. Informe Geológico Final del Pozo Roma-1. Inédito.

PETROLEOS MEXICANOS 1987. Informe Geológico Final del Pozo Tulyehualco-1. Inédito.

RESENDIZ, P.F. 1986. El sismo del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México. Aspectos geotécnicos y de cimentación. En Memorias de la Mesa Redonda sobre los sismos de septiembre de 1985. Academia Mexicana de Ingeniería.

SECRETARIA DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO 1969. El hundimiento de la Ciudad de México y Proyecto Texcoco.

SCHALAEFFER, C.J. 1960. Resumen de la Geología de la Baja México, Distrito Federal y Estados de México y Morelos. Carta Geológica de México. Instituto de Geología. UNAM.

TALWANT, M., WERZEL, J., LAMAR, J., LANDISMAN, M. 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to Mendocino submarine fracture zone. Jour. Geophys. Res. Vol. 64 p. 49-58

VEIL, P.F., TODD, R.G. y SANGREE, J.E. 1977. Chronostratigraphic significance of seismic reflections. En Seismic Stratigraphy, Memoir 26 AAPG p. 99-116