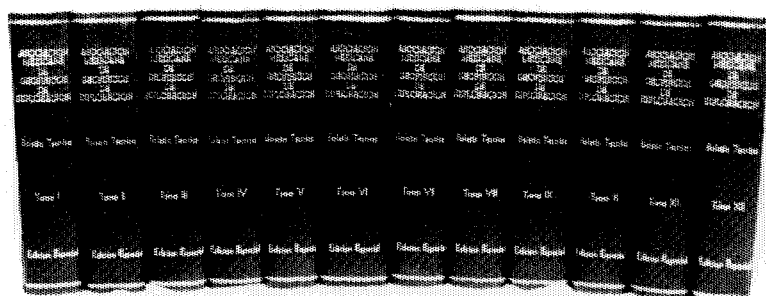


ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

Estimado Socio:

Tenemos a la disposición la colección completa en doce tomos del Boletín Técnico de nuestra querida Asociación, para mayor información con el M. en C. Rodolfo Marín Campos, a los Tels.: 567-82-61 (Directo) 587-29-77, 368-93-33, Exts.: 20355 y 20772 del Instituto Mexicano del Petróleo .



Presentación: Keratol o Keratina
Colores: Azul, guinda, café, rojo o negro
Letras: Doradas o plateadas

Atentamente,

EL CONSEJO DIRECTIVO

Sumario

Página

- INTERPRETACION E INTEGRACION DE LOS PERFILES GRAVIMETRICOS
Y MAGNETOMETRICOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN TRANSECTO
EN LA PORCION NORTE ORIENTAL DE MEXICO . 1

Alejandro Cerón Fernández

- EXPLORACION RADIOMETRICA EN EL PARQUE HEROES MEXICANOS
EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES . 33

*Jesús Hernán Flores Ruíz
Miguel Balcázar García*

ASOCIACION MEXICANA DE GEOFISICOS DE EXPLORACION

CONSEJO DIRECTIVO

1993-1994

Presidente	Ing. Raymundo Aguilera Ibarra
Vicepresidente	Ing. Francisco Rubén Rocha De la Vega
Secretario	Ing. José H. Salinas Altés
Tesorero	Ing. César Navarro Tafolla
Pro-Tesorero	Ing. Víctor A. Degollado Flores
Editor	Ing. Rodolfo Marines Campos
Coeditor	Ing. Efraín Méndez Hernández
Coordinador Ayuda Mutua	Ing. Ing. José G. Viveros Zuñiga
Subcoordinador Ayuda Mutua	Ing. Sergio García del Toro
Coordinación de Eventos Técnicos	Ing. Marcelino Olivares Dávalos
	Ing. Eduardo León Tapia
Coordinación de Eventos Sociales	Ing. Jorge R. Vera Sánchez
	Ing. Alfonso Berrios Navarro

PRESIDENTES DELEGACIONALES

Reynosa	Ing. Carlos Cantú Salinas
Tampico	Ing. Juan Maldonado Lezama
Poza Rica	Ing. Salvador Maldonado Cervantes
Coatzacoalcos	Ing. Luis Olivares Fonseca
Villahermosa	Ing. Juan B. Rivera Jácome
Cd. del Carmen	Ing. Arturo Pérez Galicia
Chihuahua	Ing. Enrique De la Rosa Santoscóy
Morelia	Ing. José Fco. Arellano Guadarrama

VOCALES

IMP	Ing. Carlos Villegas Carrasco
IPN	Ing. Ernesto Filio López
UNAM	Ing. Andrés Tejero Andrade
EXTERIOR	Ing. Javier Núñez Ariza
JUBILADOS	Ing. Antonio Cordero Limón
INTERNACIONAL	Ing. Rubén D. Martínez Macías

Para todo asunto relacionado con el Boletín Técnico, como manuscritos, suscripciones, descuentos especiales a bibliotecas públicas o universidades, publicaciones, anuncios, etc., dirigirse a:

M. en C. Rodolfo Marines Campos
Apartado Postal 57-275
06500 México, D.F.
Tel.: 567-82-61

Las aseveraciones y opiniones expresadas en los escritos en este Boletín, son de la exclusiva responsabilidad de los autores.

Boletín de la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración. Boletín Trimestral, editado por la Asociación Mexicana de Geofísicos de Exploración, Apartado Postal 57-275, 06500 México, D.F., Tels.: 545-79-68, 531-63-18 y 254-20-44, Exts.: 22537 y 23519. Solicitada la autorización como correspondencia de segunda clase en la Administración de Correos, D.F. Solicitada la licitud correspondiente a la Dirección de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Educación Pública. Prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización de la AMGE.

INTERPRETACION E INTEGRACION DE LOS PERFILES GRAVIMETRICOS Y MAGNETOMETRICOS PARA LA CONSTRUCCION DE UN TRANSECTO EN LA PORCION NORTE ORIENTAL DE MEXICO .

M. en I. Alejandro Cerón Fernández*

RESUMEN

Se muestran los resultados obtenidos de la integración geológica-geofísica, para la elaboración de un transecto localizado al Norte de la República Mexicana, el cual atraviesa las siguientes provincias geológicas : Sierra Madre Oriental, Cuenca de Sabinas, Plataforma Burro Picachos, Cuenca de Burgos, y parte del Golfo de México. Para proponer el modelo sedimentario regional que justifique la anomalía de Bouguer, se efectuó una integración de información geológica-geofísica. Se utilizó la información sismológica de una sección interpretada de 300 kilómetros de extensión la cual coincide con la posición del transecto, se integró la información de una sección estructural que está ubicada en la Sierra Madre Oriental cuya posición es la misma que la del transecto y fue tomada de la Tesis Doctoral del Dr. Ricardo Padilla (1962). Se contó con información de pozos ubicados sobre el transecto y cercanos a éste. Toda esta información se integró al basamento obtenido mediante modelado magnético. En el cálculo del modelo, se consideraron paquetes sedimentarios de diferentes edades asignándoles valores promedio de densidad y el modelado se efectuó en 2 1/2 dimensiones. Considerando la gran extensión del transecto el cual abarca zonas montañosas, la planicie costera y zona marina, fue necesario considerar y justificar el gradiente regional causado por el efecto isostático. En el transecto se reflejan los rasgos geológicos más regionales de la zona estudiada, los cuales son claramente asociados con anomalías regionales que están definidas en el perfil. Se puede observar que para este tipo de trabajo es necesario considerar el efecto por isostasia al momento de realizar el modelado gravimétrico.

*Investigador de la Gerencia de Prospección
Geofísica del Instituto Mexicano del Petróleo.

INTRODUCCION

Actualmente los trabajos de exploración geológica y geofísica se restringen por el planteamiento de objetivos cada vez más específicos cuyo logro redundará en la obtención de modelos más confiables. El papel que desempeñarán los métodos potenciales en este proceso se puede enfocar ahora desde un punto de vista más resolutivo, sobre todo si tomamos en cuenta la tendencia que ha surgido al emplearlos como una herramienta útil para la interpretación tridimensional de estructuras locales cuya geometría puede ser confusa aún en secciones sísmicas de buena calidad. Por otro lado, se siguen utilizando comúnmente para evaluar grandes extensiones de terreno, obteniéndose por este medio modelos preliminares que proporcionan una primera aproximación indirecta a la geología del subsuelo. Y la aplicación más extrema de los métodos potenciales se da en los estudios cuyos objetivos incluyen el determinar la estructura interna de la Tierra hasta profundidades de 50 o más kilómetros, con el objeto de vincular los fenómenos tectónicos regionales con los eventos presentes en la corteza superior.

El presente estudio tiene que ver con la aplicación de los dos últimos criterios a un transecto que se encuentra a lo largo de la región oriental de México (figura 1); esto es, pretende contribuir con un modelo cortical que explique el comportamiento regional de la anomalía de Bouguer cuando se analizan perfiles que cubren grandes extensiones de terreno en dirección a la región costera del Golfo, lo que permite a su vez, eliminar dicho efecto de la anomalía observada con el fin de enfatizar las anomalías gravimétricas que se asocian con las estructuras y deshomogeneidades del paquete sedimentario hasta la profundidad a que se encuentra el basamento. A los datos gravimétricos se integraron los de magnetometría, sísmica regional, geología de subsuelo y superficial, los cuales, analizados separadamente y en conjunto, proporcionaron los medios para construir un modelo geológico regional más congruente.

La metodología seguida durante las fases cuantitativas del estudio (cuadro 1.1) incluyó el modelado de los datos magnéticos para la determinación de la profundidad y topografía del basamento, así como el modelado de la anomalía de Bouguer para estimar la profundidad al Manto Superior. Los residuales que resultaron de comparar el efecto del Moho con el perfil gravimétrico observado -junto con la información geológica- fueron utilizados para determinar la configuración del paquete sedimentario a lo largo del transecto estudiado.

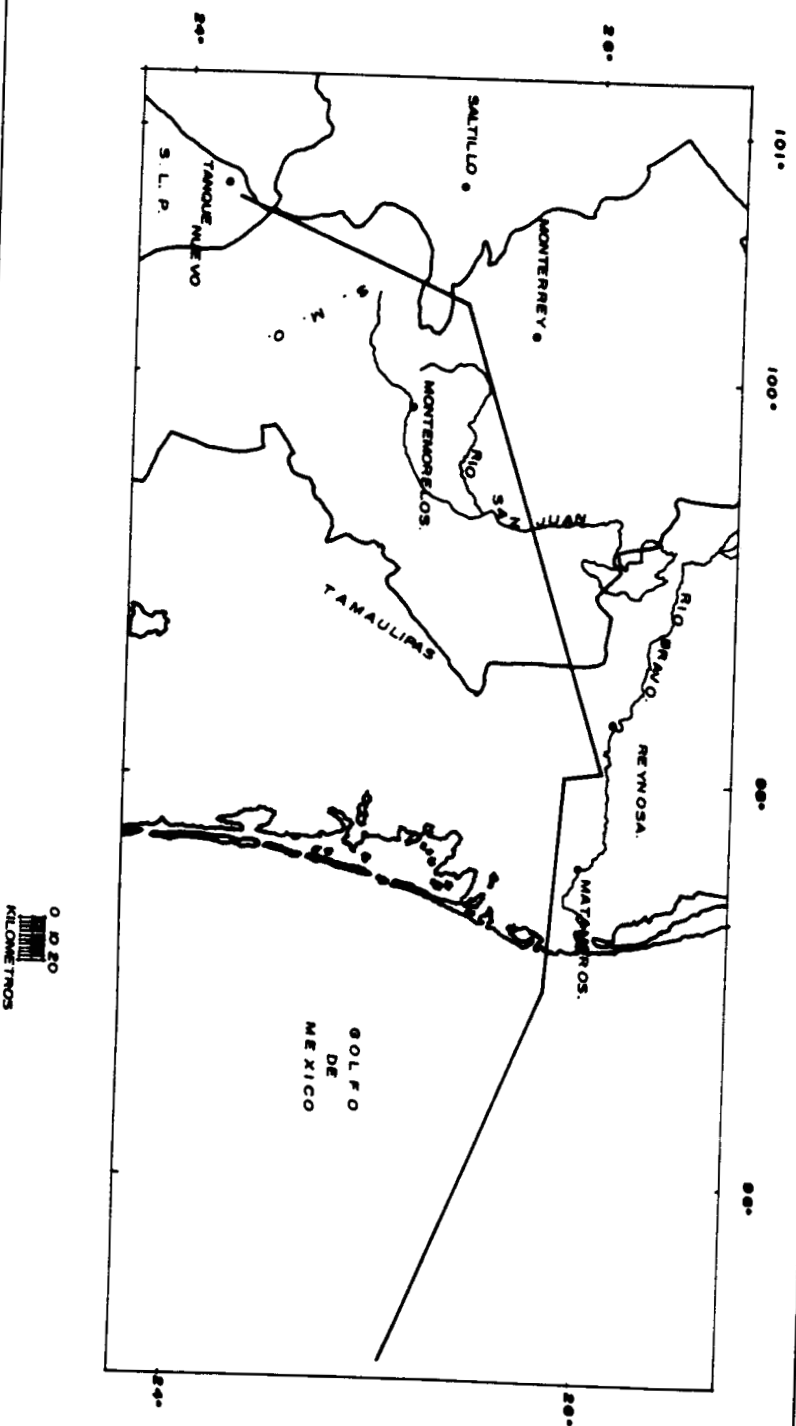
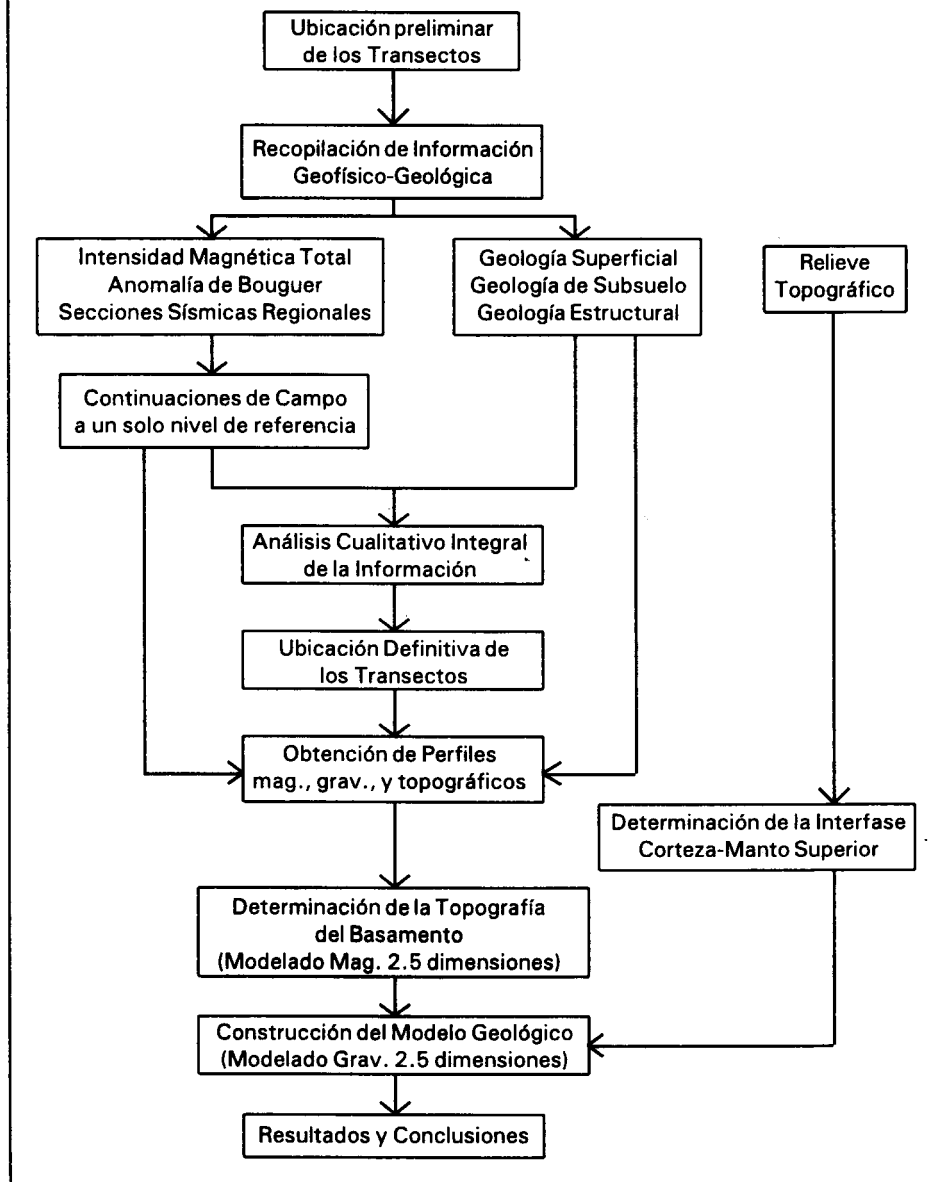


Fig. 1.- Ubicación del Transecto.

TRANSECTOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

METODOLOGIA DE TRABAJO



Cuadro 1.1.- Metodología de Trabajo.

CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRANSECTO.

LOCALIZACION.

El transecto Norte se localiza al Noreste de la República Mexicana atravesando las siguientes provincias geológicas: Sierra Madre Oriental, Cuenca de Sabinas, Plataforma Burro Picachos, Cuenca de Burgos y parte del Golfo de México (figura 2). Se ubica entre las coordenadas 24° 30' a 26°00' de latitud Norte y 95° a 101°00' de longitud Oeste. Tiene una longitud de 677 kilómetros, abarcando en su mayor parte una zona continental y una extensión marina.

MARCO GEOLOGICO

Sierra Madre Oriental

La Sierra Madre Oriental en el Noreste de México es la zona que tiene el más alto relieve topográfico de la región. El desnivel relativo entre las partes más bajas y las más altas es del orden de 800 a 1900 mts. Las rocas más antiguas conocidas en esta área son rocas Paleozoicas (en Caopas-Rodeo y Aramberri), Triásico Superior (en Galeana y Aramberri) y sedimentos metavolcánicos (en Caopas-Rodeo). La cubierta de estas rocas son terrígenos evaporíticos, clásticos y carbonatos del Jurásico Superior y Cretácico Inferior, así como rocas clásticas y terrígenos del Cretácico Superior. Las estructuras de esta región tienen distintas formas comparadas con las del resto del área. Ellas están caracterizadas por pliegues volcados cerrados y algunas veces por isoclinales los cuales frecuentemente están afallados por empuje. El limite Este presenta un gran número de afallamientos por empuje que se extienden desde Aramberri a Monterrey.

Cuenca de Sabinas

Esta región del Noreste de México fue definida por Humphrey (1956) como el Golfo de Sabinas, el cual considera que coincide con la provincia geomorfológica de Cuencas y Sierras de Coahuila. El Golfo de Sabinas está limitado al Norte por la Plataforma Burro Picachos, al Este por el Archipiélago de Tamaulipas, al Sur por el frente de la Sierra Madre Oriental y la Isla de Coahuila y al Oeste por la Depresión de Chihuahua. Las rocas marinas en el Golfo de Sabinas varían en edad desde el Jurásico tardío, y están representadas por rocas carbonatadas y terríge-

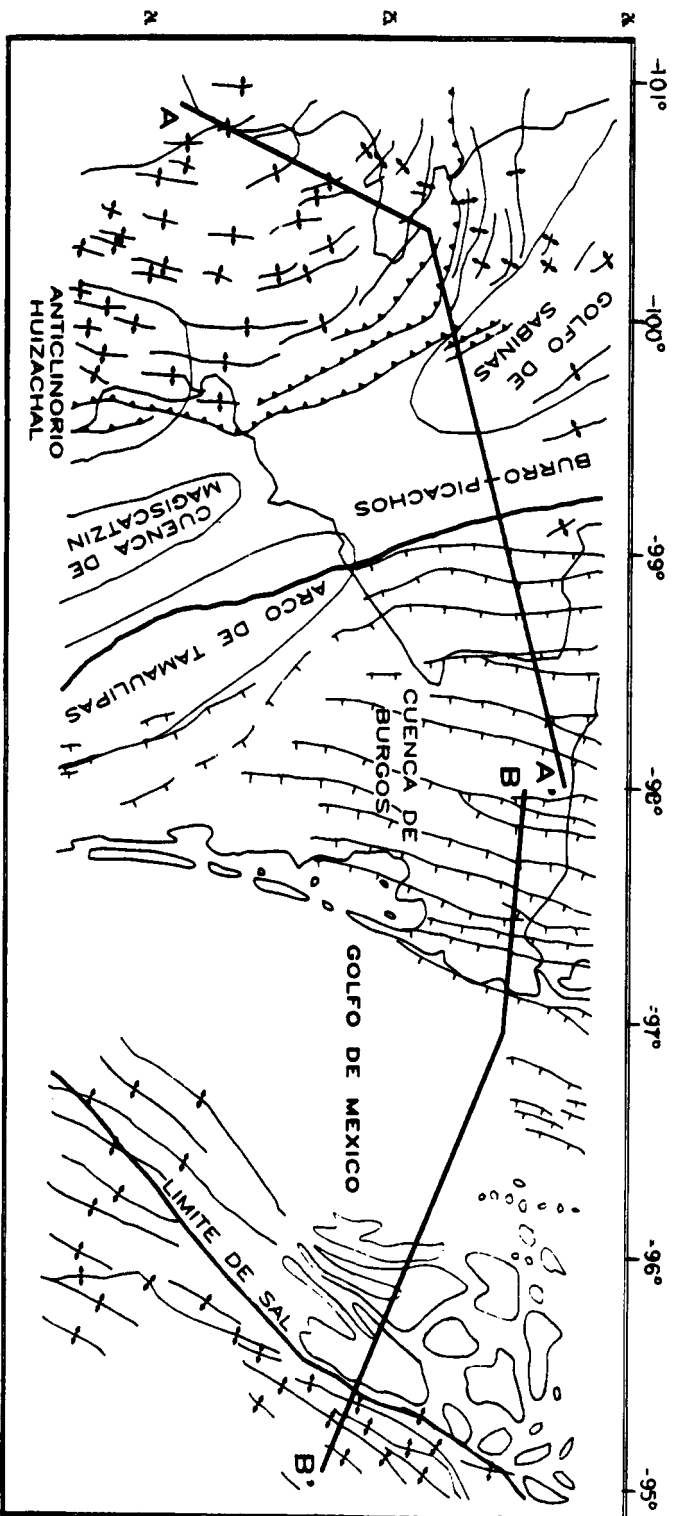


Fig.2.- Plano de Provincias Geológicas.

nos en los bordes de elementos paleopositivos, y evaporitas y carbonatos en las regiones profundas. Las estructuras del Golfo de Sabinas son grandes, elongadas, plegadas y pueden ser fácilmente diferenciadas sobre las estructuras más estables de áreas pliocontinentales.

Plataforma Burro Picachos

Esta península está limitada al Sur por los lineamientos Sabinas -Boquillas. Sus límites Este y Sureste están menos definidos. Las rocas más antiguas conocidas en esta área son Paleozoicas y posiblemente Precámbricas; ellas están subyaciendo al Cretácico Inferior (Albiano) representado por rocas calizas del Valle Rosa. La plataforma Burro Picachos fue un terreno emergente ya que el Jurásico Tardío fue cubierto progresivamente por océanos Cretácicos y sepultado completamente por el Mastrichtiano. Esta plataforma fue considerada por Humphrey (1956) como la parte Noreste de la que él determina como Península de Tamaulipas. Las estructuras más importantes sobre esta paleopenínsula son los anticlinales de Burro Picachos y el Carmen; estas estructuras son anticlinales amplios de los cuales El Carmen es el más pequeño. Los Anticlinales de el Burro y Picachos son pliegues grandes que aparecen con un trend Noroeste del Arco Salado de Murray (1959).

Cuenca de Burgos

Los límites de la Cuenca de Burgos son: al Oeste La Sierra Madre Oriental como producto de eventos compresivos; en la porción Norte se considera que es continuación del embahiamiento del Río Grande dentro de la Cuenca de Burgos; y al oriente se considera parte de la planicie Costera del Golfo de México desarrollada dentro de un margen pasivo. Debido a la teoría de la apertura del Golfo de México, esto da como resultado la presencia de fallamiento listrico, característico del margen de la planicie costera. Los movimientos tectónicos actuaron moderadamente durante el depósito de los sedimentos terciarios, estos sedimentos tienen un echado regional predominante hacia el Oriente registrándose un máximo levantamiento a fines del Oligoceno, el cual provocó que los sedimentos del Mioceno traslaparan a los depósitos del Vicksburg. Todas las formaciones se encuentran formando terrazas estructurales y pequeños anticlinales orientados NW-SE sensiblemente paralelos a los ejes de los plegamientos de la Sierra Madre Oriental, indicando que los esfuerzos deformantes provienen del W y SW como consecuencia de esfuerzos deformantes hacia el Sur.

ANALISIS CUALITATIVO DE LA INFORMACION GEOFISICA

Anomalía de Bouguer

En el presente estudio la anomalía de Bouguer se obtuvo de los trabajos realizados para Petróleos Mexicanos por brigadas gravimétricas. Esta información se encuentra en la base de datos del Instituto Mexicano del Petróleo. Los prospectos utilizados se encuentran entre las coordenadas 24° Y 26°30' de latitud Norte; 95° Y 101°30' de longitud Oeste del sistema de coordenadas geográficas. Son los siguientes:

PROSPECTO:	No. de Estaciones:
Mina	6238
San Hipólito	17
Saltillo de Oro	5516
San Marcos	200
Cuadrángulo 24°-25° 99°-100°	2366
Cuadrángulo 25°-26° 99°-100°	4034
Cuadrángulo 25°-26° 100°-101°	1286
Cuadrángulo 25°-27° 99°-100°	6463
Cuadrángulo 26°-27° 100°-101°	1765
Compilación Matehuala	2571
Santa Rosa N.L.	1804
Villagrán	2445
El Barretal	2405
Soto la Marina	87

A la información anterior se le agregó información del prospecto Este de Matamoros, que no se encontraba en la base de datos, y fue necesario digitizar el plano respectivo; asimismo se digitizó información presente en el plano Gravity Anomaly Map of the United States , Exclusive of Alaska and Hawaii East Half (1982) publicado por la Society of Exploration Geophysicists; de este plano se obtuvo la información gravimétrica del Golfo de México. Con la integración de toda la información anterior se obtuvo un plano de anomalía de Bouguer con un intervalo de malla de 2 kilómetros que cubre toda el área que atraviesa el transecto, utilizando para su cálculo una densidad de corrección de 2.67gr/cm³ y se tomó como nivel de referencia el nivel del mar. (figura 3).

Durante el análisis del plano de anomalía de Bouguer lo primero que resalta es la existencia de un gradiente regional que va aumentando de la Sierra Madre Oriental hacia el Golfo de México; este gradiente es un reflejo de las variaciones que existen en el espesor de la corteza terrestre. Esto es, se tiene un engrosa-

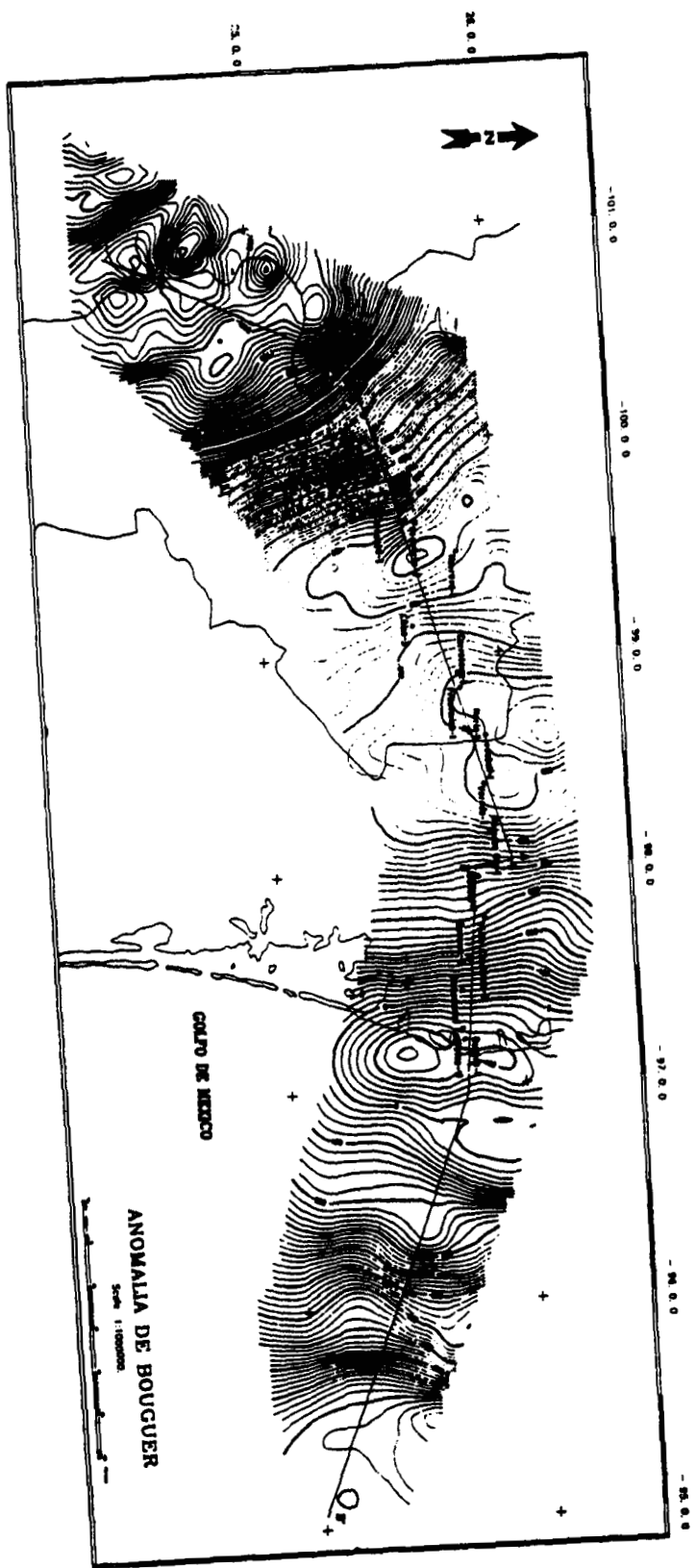


Fig.3.- Plano de anomalia de Bouguer.

miento de la corteza en la porción continental y un adelgazamiento en la porción marina; por otro lado, si nos centramos en las anomalías presentes en el plano, podemos observar que hacia el inicio del transecto se tienen una serie de anomalías locales, las cuales son asociadas a las estructuras de anticlinales y sinclinales en el Mesozoico de la Sierra Madre Oriental. Entre los pozos Carruaje-1 y China-3 aparece una anomalía positiva que se asocia a la plataforma Burro Picachos. Del pozo China-3 en adelante se tiene un mínimo regional el cual no es fácil observar debido a la influencia del adelgazamiento de la corteza; este mínimo regional se asocia con la Cuenca de Burgos.

Intensidad Magnética Total

El plano de intensidad magnética total (figura 4) considerado para el desarrollo de este trabajo fue el plano unificado de Intensidad Magnética Total de la República Mexicana, el cual se encuentra a una altura de vuelo de 3500 mts. sobre el nivel del mar y con un intervalo de malla de 2 kilómetros. La decisión de considerar esta información fue debido a las características del trabajo, que en este caso es de carácter regional, de tal forma que la información continuada a 3500 mts. es adecuada asimismo para efectuar la interpretación en forma regional. A la anterior información se le adicionaron los datos del plano de I.M.T. presentados en el Atlas 6 de la serie Ocean Margin Drilling Program Regional Data Synthesis, Series Gulf of Mexico.

Para el análisis del plano de intensidad magnética total se le aplicó previamente el proceso de reducción al polo con el objeto de tener la ubicación real de los cuerpos anómalos y tener una visión más clara a nivel regional en la interpretación cualitativa.

Reducción al polo

El proceso de reducción al polo es necesario para el caso de la interpretación cualitativa. En este proceso lo que se hace es llevar el campo de intensidad magnética total en forma vertical y de esta manera se tiene una respuesta directa y la posición exacta del cuerpo anómalo. En este trabajo la reducción al polo se efectuó en el dominio espectral sobre el plano de Intensidad Magnética Total que cubre el área de trabajo. El ángulo de inclinación magnética presente en el área es de 54.5° y fue el parámetro usado durante el proceso. El plano obtenido se presenta en la figura 5.

En el plano reducido al polo sobresale una anomalía local de gran intensidad, la cual se correlaciona con un cuerpo intrusivo que se encuentra aflorando al

inicio del transecto en la provincia de la Sierra Madre Oriental, asimismo se observa una anomalía positiva entre los pozos Pesquerías-1 y China-3 que se asocia a la plataforma Burro Picachos, pero en general no se observan características notables en todo el plano, predominando una serie de máximos y mínimos los cuales se asociaron a cambios litológicos en el basamento.

ISOSTASIA.

Un aspecto importante que se consideró en la metodología aplicada a la interpretación, es la corrección por Isostasia. Esta corrección se aplica en las zonas de gran extensión regional que están influenciadas considerablemente por las condiciones geológicas profundas de carácter tectónico y que generalmente las asociamos a hundimientos o levantamientos del manto. Es el caso del transecto, el cual se encuentra influenciado grandemente por la Sierra Madre Oriental y por la región marina; y es en estas regiones donde se resiente más el efecto isostático, por ser los puntos donde se tienen las condiciones más profundas y más someras del manto, respectivamente.

En este trabajo se considera el trabajo isostático de Airy-Heiskanen, el cual supone a los continentes flotando en un material de mayor densidad, que en cuestiones de aplicación práctica se le identifica como el manto. Para la aplicación de este método se considera la densidad promedio de la corteza terrestre igual a 2.67 gr/cm^3 , la densidad del Manto igual a 3.27 gr/cm^3 y un espesor promedio para la corteza de 30 km. Este sistema supone raíces de las montañas en función de la topografía, como material que compensa el efecto de exceso de masa existente; esto es también aplicable considerando las deficiencias de masa en las cuencas oceánicas, que son compensadas isostáticamente. La otra suposición considera las antirraíces del manto existentes bajo las cuencas oceánicas.

Para la determinación de la forma y profundidad del manto, se utilizan las expresiones de Heiskanen las cuales se apoyan en la hipótesis de Airy. Existe una de éstas para el cálculo del manto continental que tiene como datos la elevación con respecto al nivel del mar en cada punto donde se desee calcular el incremento de profundidad, dato al que se le adiciona 30 km., que es la profundidad promedio del manto suponiendo que no existiera otra elevación. Otra expresión se utiliza para calcular la profundidad promedio de 30 kilómetros proporcionando los datos del tirante de agua en cada punto donde se desee conocer la disposición del manto.

En el transecto de la parte continental se tienen diferencias en el desnivel topo-

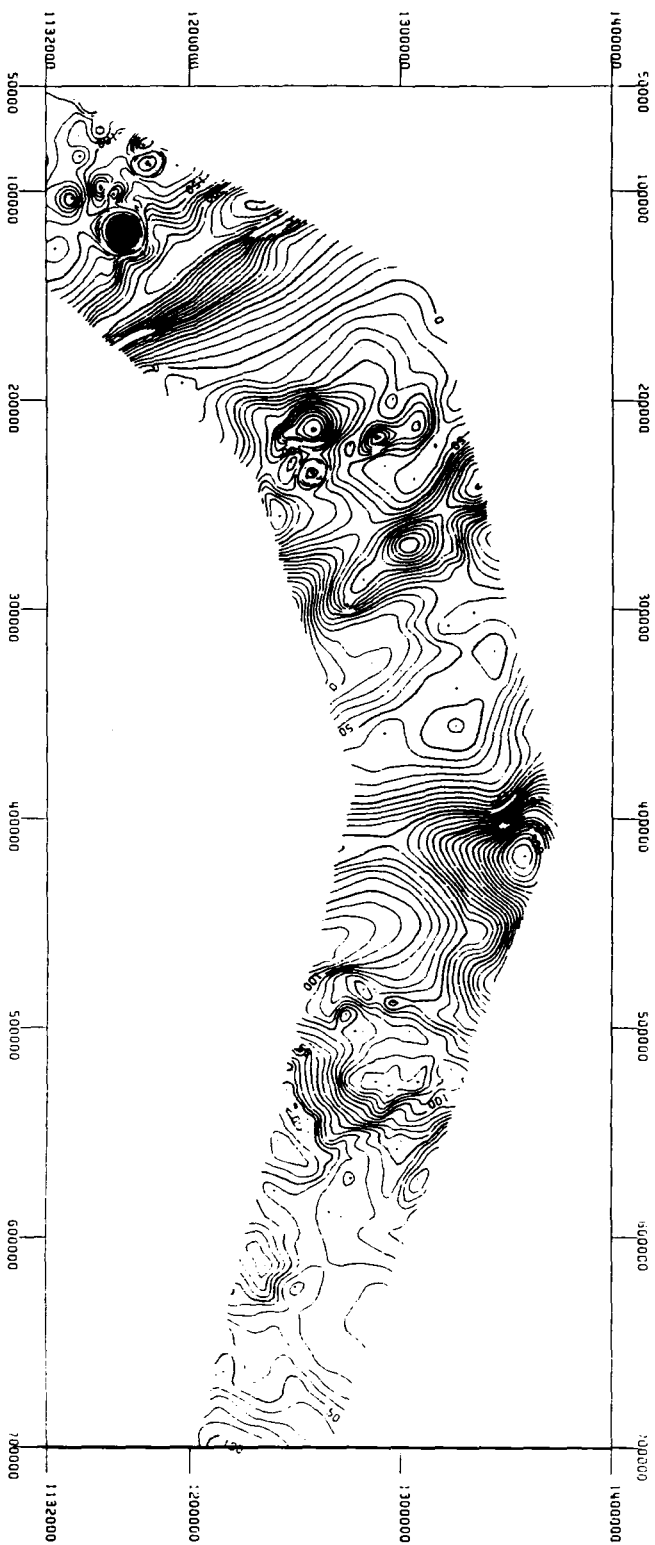


Fig. 5.- Plano Reducido al Polo.

gráfico de 2000 mts. aproximadamente, lo que nos da un espesor de la corteza de 40 kilómetros según la expresión anterior referida; mientras que para la parte marina se tiene un tirante de agua de 3000 mts., lo que nos da un espesor de 20 kilómetros para la corteza.

Una vez que se determinó la interfase manto-corteza, se hace un cálculo del modelo considerando una densidad de 2.67 gr/cm^3 para la corteza y de 3.27 gr/cm^3 para el manto y la anomalía calculada se comparó con una regional a partir del cual se modeló dicha superficie.

MODELADO MAGNETOMETRICO Y GRAVIMETRICO DE LA PARTE SUPERIOR DE LA CORTEZA

Durante el modelado del transecto se consideraron dos etapas; por un lado el modelado magnetométrico y posterior a éste el modelado gravimétrico.

Modelado Magnetométrico del Basamento.

Para el inicio del modelado magnetométrico del basamento se aplicó el proceso de reducción al polo al plano de intensidad magnética total en el dominio espectral considerando la transformada de Fourier. Después se ubicó el transecto sobre el plano de intensidad magnética total y se efectuó un muestreo cada 2 kilómetros teniéndose un total de 339 estaciones muestreadas. A dicho perfil se le aplicó el proceso de Deconvolución Werner; éste se efectuó con tres diferentes tamaños de operador: 6, 12 y 18 kilómetros. El operador más pequeño se consideró para las anomalías de menor longitud de onda y para las anomalías de mayor longitud de onda se consideraron los otros dos tamaños de operador.

A partir de las profundidades calculadas con el proceso de Deconvolución Werner se propuso un modelo de basamento magnético inicial para efectuar el modelado magnético en 2 1/2 dimensiones. Para este proceso fue necesario dividir en dos partes el transecto, ya que su trazo muestra un cambio brusco de dirección. Los parámetros en estas dos secciones son los siguientes:

	SECCION	
	1	2
AZIMUT	48.0°	102.5°
DECLINACION MAGNETICA	7.5°	6.5°
INCLINACION MAGNETICA	54.5°	55.0°
CAMPO TOTAL	47000.00γ	47000.00γ
No. DE ESTACIONES	184	156

Una vez obtenido el modelo de la cima del basamento se propuso su base en función de cuatro columnas corticales tipo para diferentes regiones de México (figura 6); concretamente en estas últimas, se visualiza un cambio brusco en velocidad y densidad a una profundidad que varía en 27 km., bajo la Meseta Central y 15 km. por debajo del Golfo de México (Ortiz, D. y Sandoval S. M., 1987). Tal discontinuidad es conocida como discontinuidad de Conrad y no se tiene otra referencia de ésta más que la mencionada. En el basamento se tiene un afloramiento de rocas intrusivas en la provincia geológica de la Sierra Madre Oriental hacia el inicio del transecto entre los kilómetros 18 y 24, el cual tiene una respuesta magnética característica de este tipo de fuentes.

El basamento desde el inicio del transecto hasta el kilómetro 230 tiene una profundidad de 3 kilómetros bajo el nivel del mar sin cambios significativos; del kilómetro 230 en adelante el basamento se profundiza en promedio hasta 8 kilómetros, con una serie de pequeñas variaciones.

Para el ajuste entre la anomalía observada y la calculada fue necesario considerar varios cambios litológicos dentro del basamento, proponiéndose diferentes bloques con valores de susceptibilidad magnética diferentes. Para la determinación de este basamento también se contó con información sismológica entre los kilómetros 170 y 250 donde se tienen reflejos del basamento.

Como se puede observar, el ajuste de la anomalía de intensidad magnética total con respecto a la anomalía calculada está en forma regional y esto es por el carácter del trabajo realizado.

Modelado Gravimétrico

El modelo gravimétrico se inicio con la ubicación del transecto sobre el plano de anomalía de Bouguer, efectuándose un muestreo con intervalo a cada 2 kilómetros lo que dió un total de 339 estaciones. Así como en el caso magnético, el transecto se dividió en dos secciones con 184 y 156 kilómetros de extensión cada una.

Para proponer el modelo sedimentario regional que justifique la anomalía de Bouguer se efectuó una integración de información geológica-geofísica. Se contó con información sismológica de una sección sísmica interpretada (figura 7), la cual tiene una extensión aproximada de 300 kilómetros y coincide con la posición del transecto, en esta sección se tienen reflejos que son la respuesta de sedimentos de edad Terciaria, Mesozoica y al inicio de la sección, reflejos que son la respuesta del basamento. Se integró también la información de una sección estructural (figura 8), que está ubicada en la Sierra Madre Oriental y su

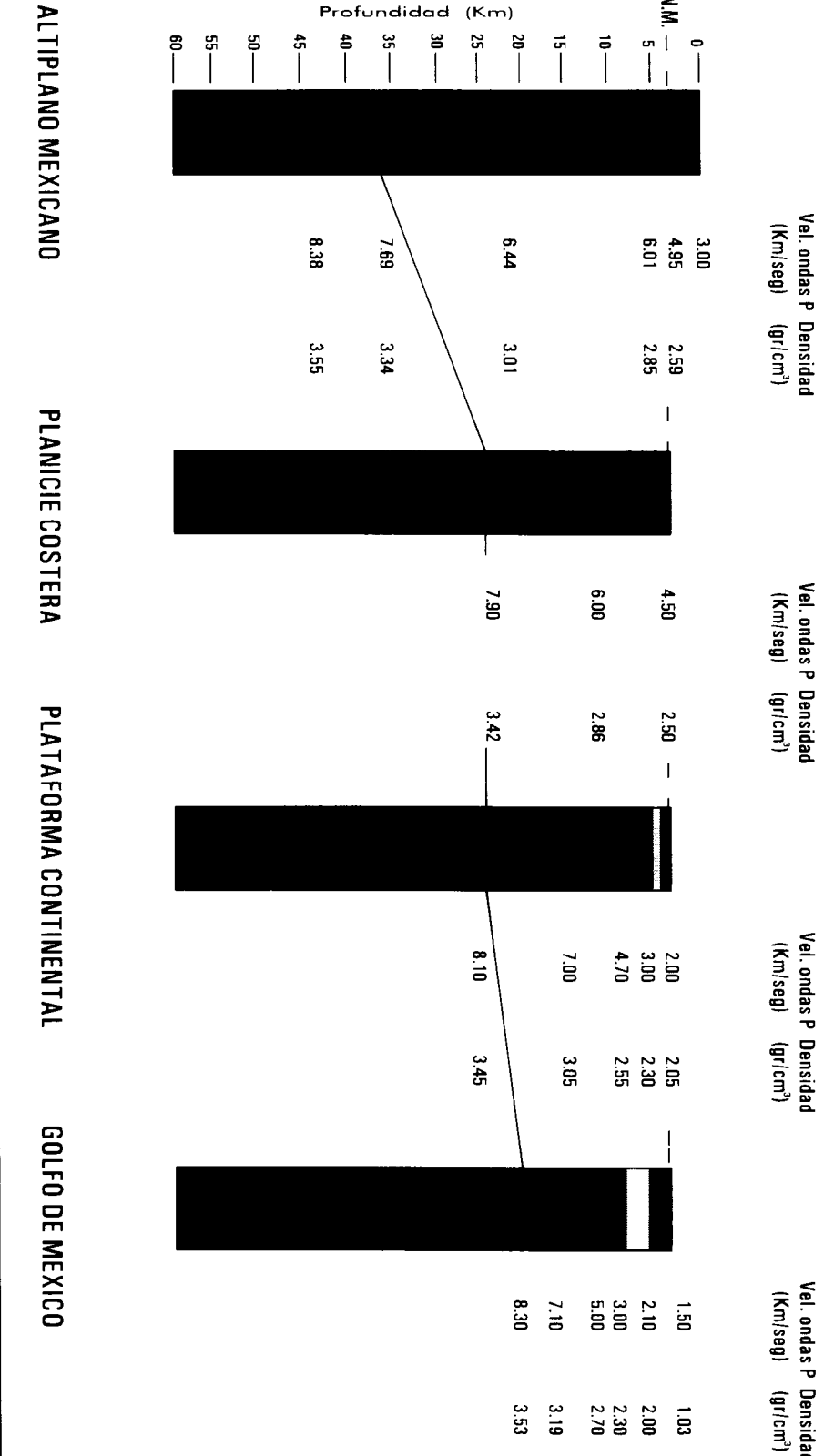
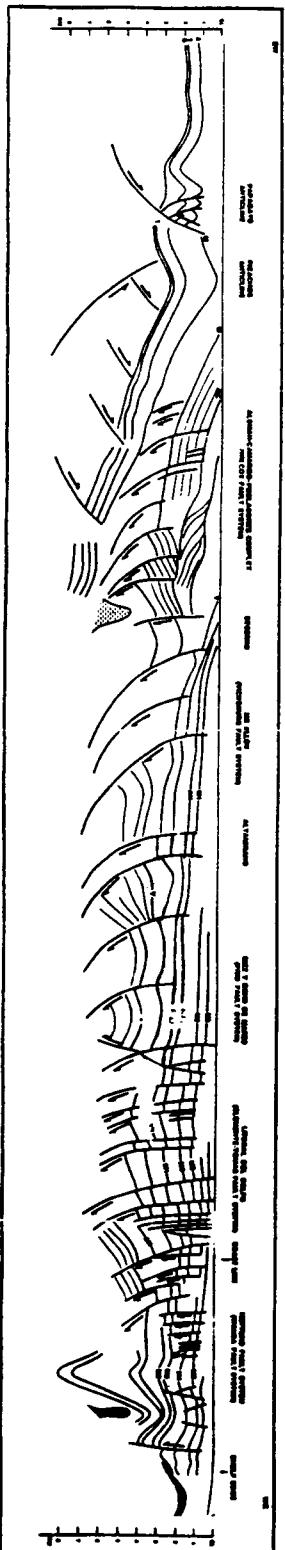


Fig. 6.- Columnas Corticales Tipo.



Geological cross-section of the Andean orogenic belt (Pérez, 1992)

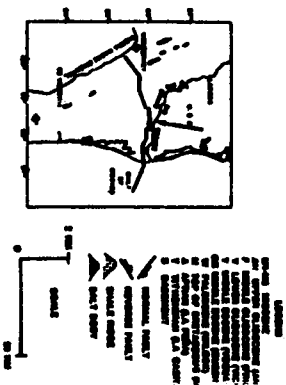


Fig. 7.- Perfil Sismico Interpretado en Profundidad (Pérez, 1992).

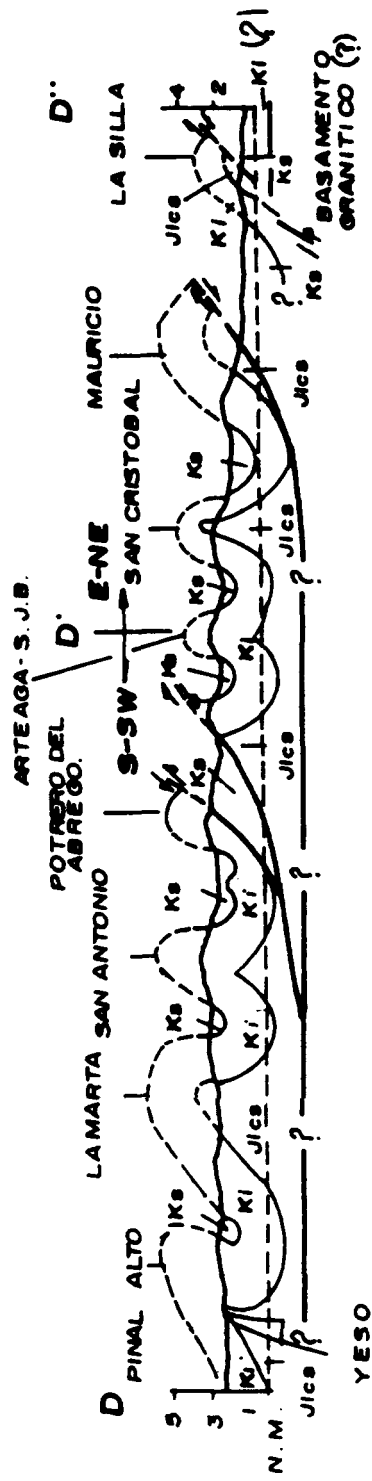


Fig. 8.- La sección tiene una orientación E-NE - S-SW y está localizada al sur de Monterrey (Padilla y Sánchez, 1982).

posición coincide también con la del transecto; esta sección fue presentada en la Tesis Doctoral del Dr. Ricardo Padilla (1982).

Se tuvo información de pozos ubicados sobre el transecto o cercanos al transecto, los cuales son:

P O Z O	P.T. en mts.
CARRUAJE -1	3120
PESQUERIA -1	3715
HERRERA -1	2696
CHINA - 3	3400
CARRETERAS -1	3000
FRONTERIZO -1	3000
NORIA -1	1370
JABALI -1	2900
VEREDA -1	2500
REYNOSA ORIENTE -1	5380
MADERO -1	4267
VILLA CARDENAS -1	3000
SOCORRO -1	3000
MATAMOROS SUR	3500
LAURELES -1	3000
BOSQUE -1	3500

A toda la información anterior se integró el basamento magnético modelado con magnetometría, así como la interface manto-corteza, proponiéndose un modelo inicial. En este modelo se manejaron densidades promedio para cada paquete sedimentario, los cuales se diferenciaron por edades. Por lo que respecta al basamento, en éste se manejaron cambios litológicos de densidades diferentes. También para la corteza inferior y el manto se consideraron densidades promedio.

Como se puede ver en el transecto (figura 9), se tienen diferentes comportamientos estructurales para cada provincia geológica y esto depende del tipo de eventos existentes que intervinieron en la formación de cada una de ellas. En cuanto al ajuste de la anomalía gravimétrica calculada con respecto a la anomalía de Bouguer observada, es regional pero bastante aceptable.

CONCLUSIONES

Considerando la gran extensión del transecto el cual abarca zonas montañosas, la planicie costera y zona marina, fue necesario considerar en el modelo gravimétrico la interfase Manto-Corteza Inferior, así como la discontinuidad de Conrad.

En la determinación de las interfases Manto-Corteza Inferior y Corteza Inferior-Basamento, no se contó con información sísmica profunda y temperaturas de Curie que apoyaran su posición. Sin embargo se calculó la interfase Manto-Corteza inferior utilizando la ecuación de Heiskanen que se apoya en la hipótesis de Airy; y para definir la profundidad de la interfase corteza inferior-basamento se tomaron las profundidades propuestas en la tesis de licenciatura de Ortiz D. y Sandoval S.M. (1987), en la cual se sugieren estas profundidades en base a los datos sísmicos profundos existentes.

Al calcular el modelo considerando la carpeta sedimentaria se tiene un enmascaramiento de los efectos superficiales, lo cual no permite diferenciar con claridad las provincias geológicas, por lo que se recomienda efectuar una separación de la influencia isostática en la anomalía de Bouguer y efectuar el modelado con la anomalía de Bouguer libre de la influencia isostática, solo considerando el basamento y la carpeta sedimentaria.

En la evolución geológica es claro que las fuerzas de compresión en el Eoceno Medio al Este de la Sierra Madre Oriental jugaron un rol importante en la modificación de las estructuras interrelacionadas y sistemas depositacionales a lo largo del margen pasivo al Oeste de la Cuenca de Burgos. Estas fuerzas de compresión producen levantamientos y erosiones a lo largo del margen oeste de la cuenca y se reduce la razón de subsidencia y acomodamiento sedimentario en la cuenca misma.

La presencia de evaporitas Jurásicas influye en ambos estilos estructurales presentes, compresionales y extensionales.

Basándose en el tiempo y mecanismos de deformación de los Pliegues Perdido y Mexicano y la Sierra Madre Oriental, es claro que el origen de los pliegues Perdido y Mexicano y cinturones de empuje es diferente que el de la Sierra Madre Oriental.

El origen de los pliegues Perdido y Mexicano se relacionan con el levantamiento regional en el Oeste de México y deslizamientos gravitacionales resultantes so-

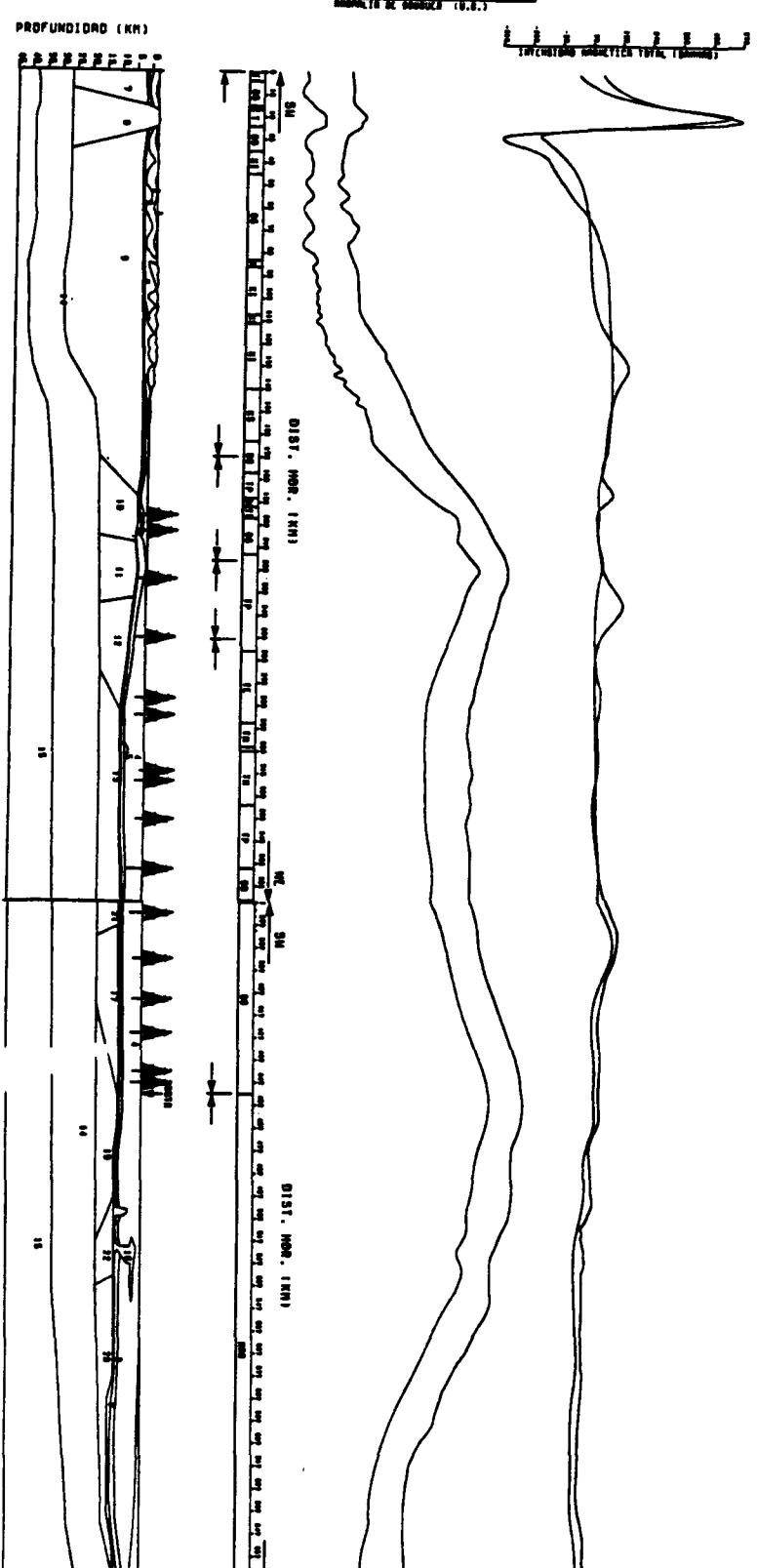


Fig.9.- Transecto en la porción Norte Oriental de México.

D A T O S

COORDENADAS		
X ₀ = *****.		Y ₀ = *****.
X ₁ = *****.		Y ₁ = *****.
CUERPO	DENSIDAD (g/cm ³)	SUSCEPTIBILIDAD (S.I.S.S.)
BASE	2.400	0.0000
1 (TERCIARIO)	2.900	0.0000
2 (CRETASICO)	2.600	0.0000
3 (JURASICO)	2.650	0.0000
4 (TERCIARIO)	2.900	0.0000
5 (DIAP.ARCI)	2.200	0.0000
6 (TRIASICO)	2.650	0.0000
7 (BASAMENTO)	2.670	0.0005
8 (BASAMENTO)	2.670	0.0090
9 (BASAMENTO)	2.670	0.0005
10 (BASAMENTO)	2.850	0.0020
11 (BASAMENTO)	2.800	0.0020
12 (BASAMENTO)	2.850	0.0020
13 (BASAMENTO)	2.950	0.0090
14 (CORT.SUP.)	3.000	0.0000
15 (MANTO)	3.270	0.0000
16 (DIAP. SAL.)	2.200	0.0000
17 (BASAMENTO)	2.700	0.0027
18 (MAR)	1.020	0.0000
19 (BASAMENTO)	2.900	0.0050
20 (BASAMENTO)	2.700	0.0020
21 (BASAMENTO)	2.700	0.0040
22 (BASAMENTO)	2.900	0.0020

bre la pendiente continental desde el Oligoceno tardío al presente. En contraste, el plegamiento y levantamiento en la Sierra Madre Oriental estuvo asociado con subducción en el Oeste de México desde el Cenomaniano al Eoceno Medio.

Según el modelo de Padilla y Sánchez (1982), la distribución de pliegues y cabalgaduras del Noreste de México, puede ser explicado por un movimiento de Norteamérica hacia el Noreste con respecto a México, más que por la acción de esfuerzos compresivos coaxiales de orientación SW-NE.

El aspecto estructural más notable de la Cuenca de Burgos es el afallamiento tan intenso que interrumpe a los sedimentos del Oligoceno. Todas las fallas son anormales, se orientan con rumbo general Norte-Sur y presentan su bloque oriental caído. Las fallas son debidas principalmente al peso de los sedimentos que provoca reacomodos en el subsuelo a lo largo de líneas de debilidad. Se pueden reconocer dos tipos de diferentes fallas: fallas postdepósito y fallas de crecimiento. Las primeras aunque no afectan la sedimentación son importantes debido a los numerosos bloques afallados que bajo condiciones estratigráficas favorables pueden formar trampas para la acumulación de hidrocarburos.

Las fallas de crecimiento que fueron contemporáneas al depósito, son responsables de gruesos espesores de sedimentos en los bloques caídos. Estos depósitos compensatorios generalmente son cuerpos arenosos y tienden a doblarse hacia el plano de falla produciendo pliegues anticlinales de importancia comercial. El campo Reynosa es un ejemplo clásico de este caso.

Dentro del área de la Cuenca de Burgos, se considera parte de la planicie costera del Golfo de México, desarrollada esta última dentro de un margen pasivo. En la porción marina se encuentra al noreste del escarpe de Sigsbee, y por lo que se aprecia está cerca de un sistema de apertura del Golfo de México. Esto da como resultado la presencia de fallamiento lístrico, característico del margen de la planicie costera.

REFERENCIAS

Bello N. M.A y Ornelas V.R.; 1990, proyecto C-7072. Integración e Interpretación del Basamento Magnético de la República Mexicana, Proyecto del Instituto Mexicano del Petróleo.

Humphrey W.E; 1956, Tectonic Framework of Northeast Mexico. Gulf Coast Assoc. Geol. Socs. Trans., V.6p. 25-35.

Murray G.E; 1959 Introduction and regional geologic summary of field trip area., Southeastern Coahuila and Nuevo Leon. So. Tex. Geol. Soc. Field Trip. Guidebook, p A1 A-4.

Ornelas V.R; 1988 Proyecto C-7022. Configuración Magnética de la República Mexicana, Informe del Instituto Mexicano del Petróleo.

Ortiz, D. y Sandoval S.M; 1987, Determinación del Espesor Cortical para una Región de México y sus Implicaciones Tectónicas, Tesis Profesional I.P.N.

Padilla y Sánchez Ricardo; 1982, Geologic Evolution of The Sierra Madre Oriental Between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, México: PhD dissertation, University of Texas at Austin, Texas. 217p.

Paul L. Lyons and Norbert W. O'Hara, Gravity Anomaly map of the United States by the Society of Exploration Geophysicists, in Colaboration with United States Geological Survey Defense Mapping Agency National Oceanic and Atmospheric Administration

Pérez C. G.A; Geologic Evolution of the Burgos Basin Northeastern México, PhD. dissertation University of Rice Houston, Texas 155p.

Rex H. Pilger, Jr., David S. Rubin and Linda M. Kauth. Magnetic Total Intensity Anomalies., Ocean Margin Drilling Program regional Data Synthesis Series, Atlas 6, Gulf of Mexico.

Sánchez R.V; 1991 CAO-7505 Diseño de un Manejador de Base de Datos Gravimétricos para P.C. Proyecto del Instituto Mexicano del Petróleo.

EXPLORACION RADIOMETRICA EN EL PARQUE HEROES MEXICANOS EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES.

M. en I. Jesús Hernán Flores Ruíz*

Dr. Miguel Balcázar García*

RESUMEN

Como parte de la detección superficial de la radiación ambiental gamma y alfa, llevada a cabo en la zona sur del centro de la ciudad de Aguascalientes en el parque Heroes Mexicanos, se estimaron los parámetros geoestadísticos a partir de 51 y 31 datos de campo respectivamente. Se calcularon los variogramas, estimándose la máxima distancia "a" de correlación intermuestral en las distintas orientaciones geográficas (E-W, N-S, Ne-Sw, Nw-Se). Estas distancias "a" para rayos gamma es de 150 metros y de 200 metros para las partículas alfa en el diseño óptimo de las rejillas de detección para futuros análisis en la zona.

Este tipo de optimización se usa para el espaciamiento uniforme de las mallas de exploración radiométrica y dosimétrica en el terreno, a fin de no perder detalle en la determinación de las anomalías de emisión de radiación gamma y de gas radón respectivamente. El resultado es un mapeo estructural (fallas, fracturas y juntas) del terreno mediante esta técnica.

* Gerencia de Investigación Aplicada del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

INTRODUCCION

En los últimos 10 años han aparecido en la ciudad de Aguascalientes grietas de gran longitud. Algunas con más de 5 km de largo afectan el área urbana, ocasionando daños de diversa magnitud a la estructura civil, localizándose dentro y afuera del área urbana .

Su presencia y continuidad dentro de la ciudad se infiere a partir de banquetas y pavimentos rotos, así como zonas dañadas en las construcciones por donde pasan estas grietas. Fuera del área urbana, las fracturas se localizan en sembradíos y terrenos de lomas que rodean la ciudad .

Dichas fracturas se generan por la extracción de agua de los acuíferos libres del subsuelo, sobre el cual se ha edificado la ciudad de Aguascalientes y/o por movimientos tectónicos regionales .

El valle de Aguascalientes corresponde con un graben de orientación Norte-Sur, que se extiende desde el estado de Zacatecas en el norte y se continua más allá del límite con el estado de Jalisco en el sur. La ciudad de Aguascalientes se localiza en el flanco Este del graben y las trazas de falla principales del graben coinciden con las grietas principales recientemente aparecidas, ver carta tectónica de la Fig.1 .

Esta Carta sugiere una zona de distensión regional de 2° por 2° geográficos para los estados antes descritos con sus características tectónicas e implicaciones geodinámicas regionales, donde existen probablemente deformaciones asociadas a mecanismos de dispersión o extensión relativos a movimientos de placas en el área .

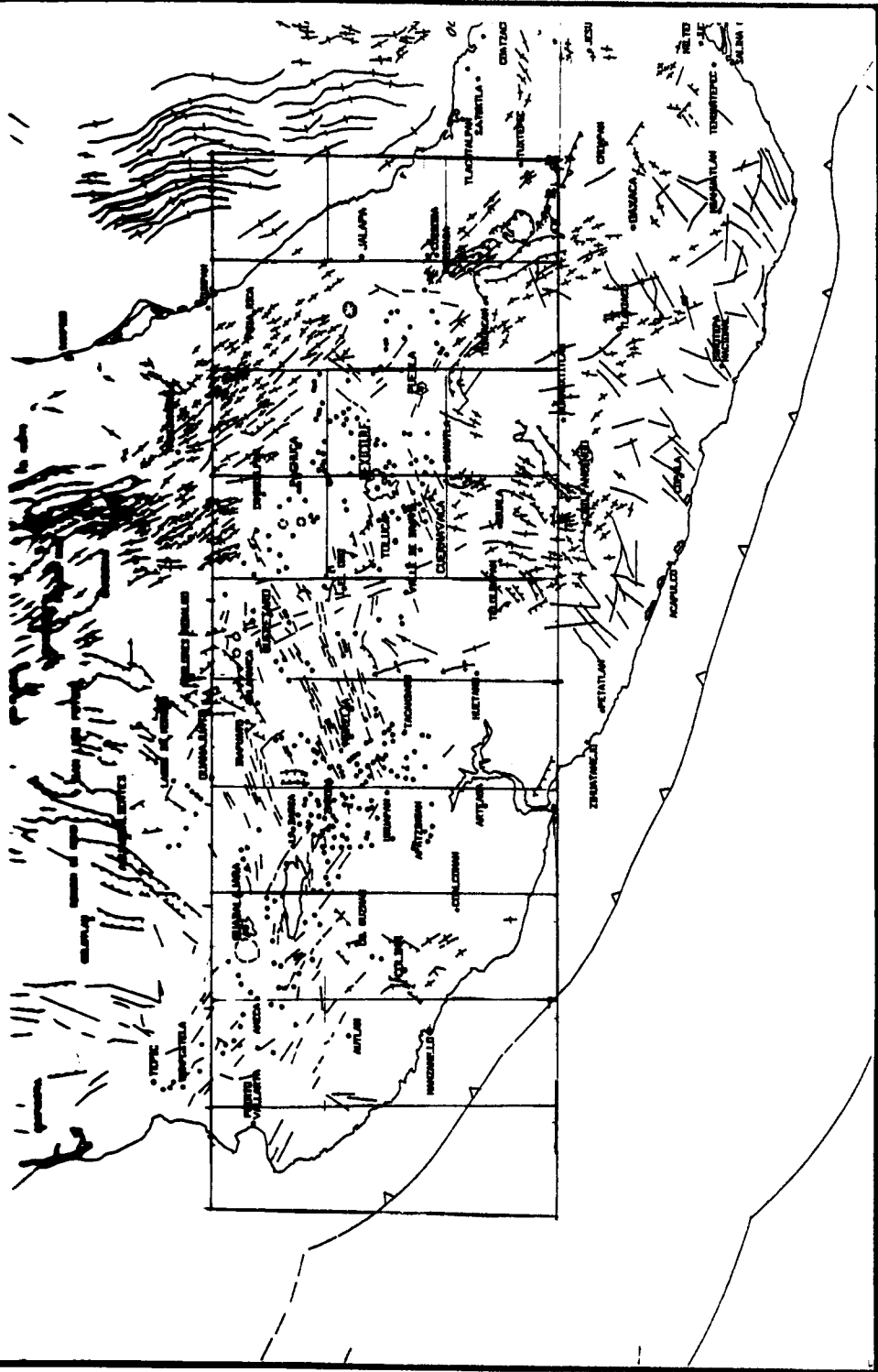


Fig. 1.- Carta Tectónica de México (Padilla R.J. et al., 1989). El Valle de Aguascalientes, corresponde con un graben de orientación Norte-Sur. La ciudad de Aguascalientes se sitúa en fallas recientemente localizadas en esta Carta.

GEOHIDROLOGIA

En la zona cercana a la ciudad de Aguascalientes, se identificaron 170 pozos de agua con profundidades de 10 a 500 metros. Se estima que se extrae un volumen anual de 55 millones de m³. En los alrededores de la ciudad se localizan el 95 % de estos pozos, de donde se extrae un volumen de agua de 31.7 millones m³/año de la secuencia volcánica. El acuífero de la secuencia volcánica se considera como un acuífero libre en un medio fracturado de alta permeabilidad en donde el flujo principal de agua varía en magnitud y dirección dependiendo de la zona. La temperatura media del agua es 40°C .

El resto de los pozos se encuentran perforados en el valle de Aguascalientes. De ellos se extraen 23.3 millones m³ y explotan un acuífero de tipo granular. Puesto que el volumen medio anual infiltrado en esta zona es de únicamente 11.4 millones m³ , se considera que existe una importante recarga horizontal del acuífero. Esto quiere decir que existen dos cuencas diferentes pero interconectadas. De acuerdo con los muestreos de agua de las diferentes zonas, se concluyó que la comunicación entre el agua somera de los aluviones y tobas con flujo profundo, se logra por medio de la falla del graben y del fracturamiento de la secuencia volcánica. La precipitación media anual es del orden de 450 mm y se concentra en los meses de verano (junio a octubre) .

La columna estratigráfica del área fue deducida de los afloramientos y de los datos de pozos, que se resumen a continuación: (Nieto, 1993) .

Formación	Descripción	Espesor
Aluvión	Depósitos aluviales Cuaternarios	0-400m
Toba Aguasc.	Piroclásticos Cuaternario	50m
Relleno Aluvial	Depósitos aluviales del Terciario	200m
Toba Soyatal	Piroclásticos con textura vitroclástica del Mioceno	300m
Brecha Volc,	Fragmentos piroclásticos gruesos cementados	60m
Riolita Ojo Caliente	Ignimbrita y demás productos piroclásticos de edad Oligoceno (?)	?

EXPLORACION RADIOMETRICA

El parque urbano Héroes Mexicanos se sitúa en la parte sur del centro de la ciudad de Aguascalientes, Fig.2 .

La detección Gamma se realizó con un cintilómetro que mide esta radiación de la serie de decaimiento radiactivo del Uranio (238), Torio (232) y Potasio (40) en la naturaleza. El Potasio se mide directamente de su propia serie con energía de 1.46 Mev, el Uranio es medido indirectamente del Bismuto (214) con energía de 1.76 Mev y el Torio es medido a partir del Talio (208) de energía 2.62 Mev. La ventana de medición más usual de estos minerales radioactivos es de 0.41 a 2.81 Mev (Grasty,1975).

La detección del gas Radón es por medio de partículas alfa a través de detectores plásticos del tipo LR115. Los detectores son dejados en el sitio durante 4 semanas aproximadamente, recolectados y tratados de acuerdo al procedimiento establecido (Chávez y Balcázar, 1985). Dichas exploraciones se hicieron en una área de 19 hectáreas aproximadamente.

Los sitios de detección se localizaron en algunas fallas visibles y en zonas no visibles, para mapear fallas y generar un mapa estructural más actualizado del que se tiene.

Se distribuyeron estacas en el terreno con dirección Norte-Sur en arreglo de 4 grupos, las distancias entre los 3 primeros grupos son de 90 metros y el último es de 350 metros. Las distancias entre las estacas de cada grupo son de 10 a 30 metros, el número de estaciones para radiación gamma es de 51 y de 31 para radiación alfa en los mismos sitios, ya que se tuvo una pérdida total de 20 detectores en el muestreo en alfa.

CORRELACION ESTRUCTURAL

Existe en general una buena correlación entre las fallas mapeadas y las estaciones de muestreo de rayos gamma y emanaciones de gas radón (alfa) en el parque Héroes Mexicanos.

El máximo radiométrico en exploración gamma se localiza en la zona norte de las figuras 3 y 4 donde se ubica una falla visible; en las demás zonas exploradas se infieren las fallas a partir de los máximos locales. En la parte central de dichas figuras los gradientes de los isovalores de radiación alfa y gamma muestran dos fallas asociadas a la máxima variación de la actividad. Así que se infieren dos fallas que se bifurcan desde ahí hasta la parte sur del parque.

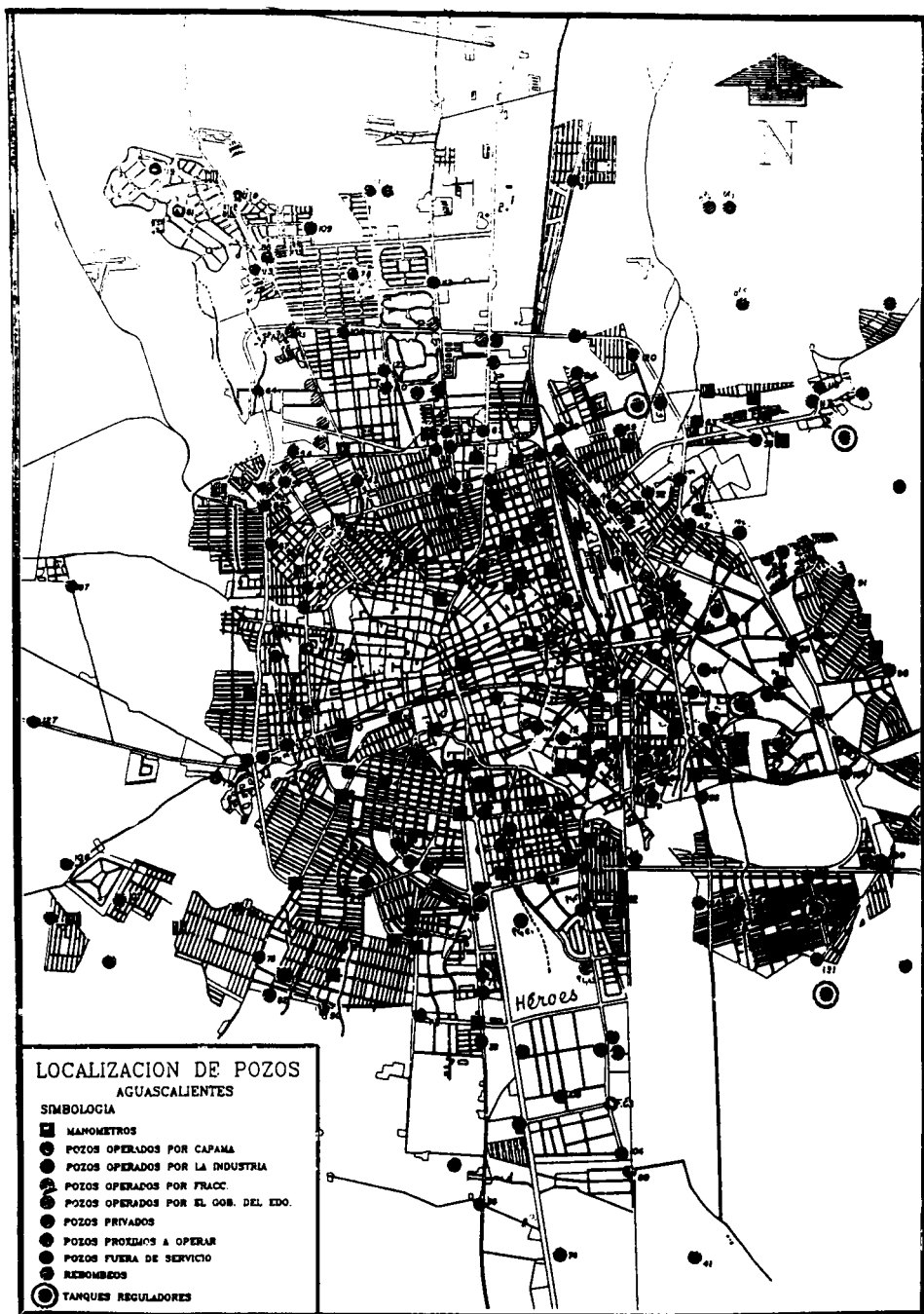


Fig. 2.- Detección γ y α se realizó en el parque Héroes de la Ciudad de Aguascalientes para determinar posibles extensiones de fallas geológicas visibles superficialmente.

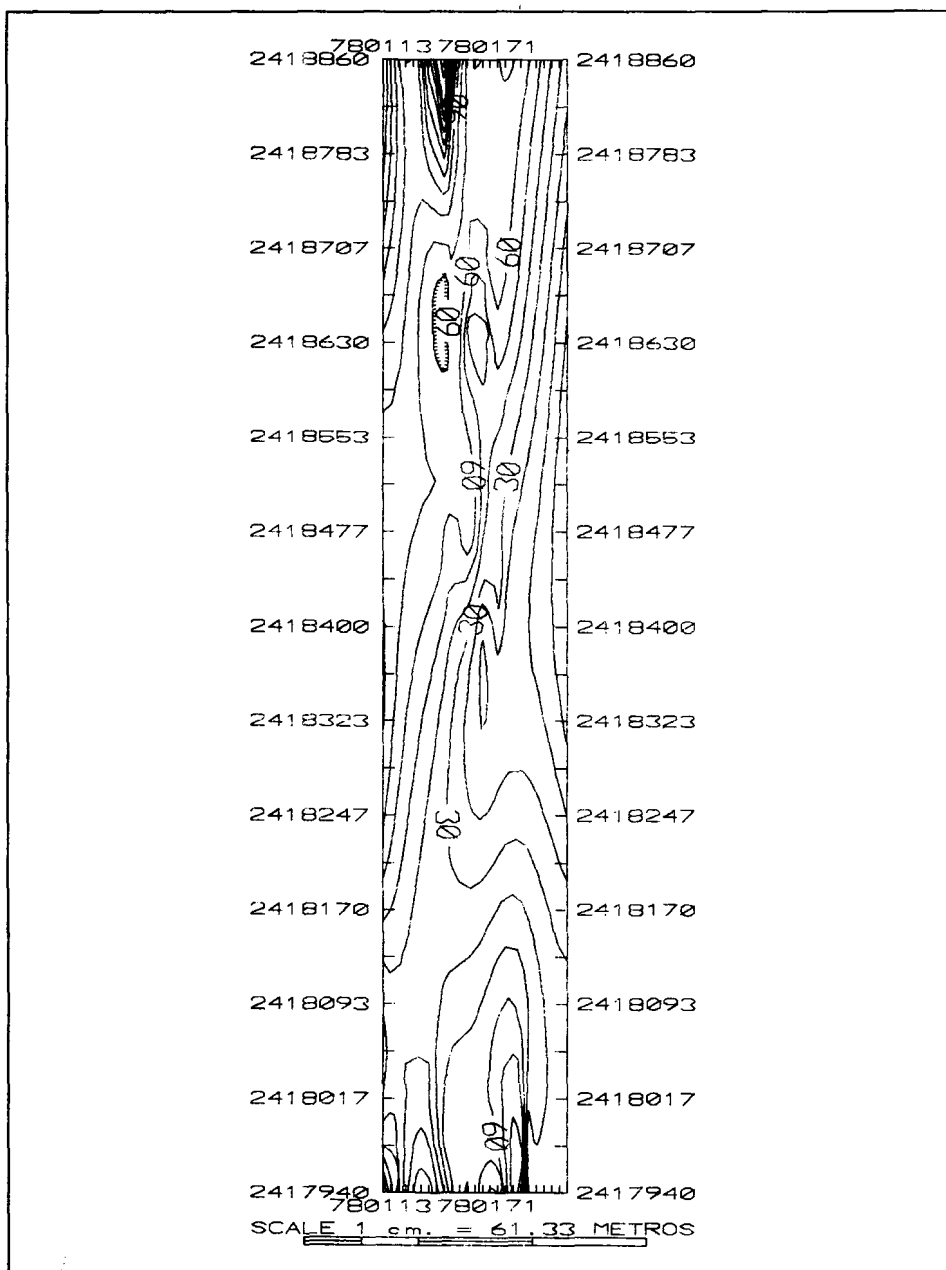


Fig. 3.- Curvas de isovalores y en el parque Héroes de la Ciudad de Aguascalientes. Los gradientes son indicativos de la posible extensión de fallamientos aún no visibles desde la superficie.

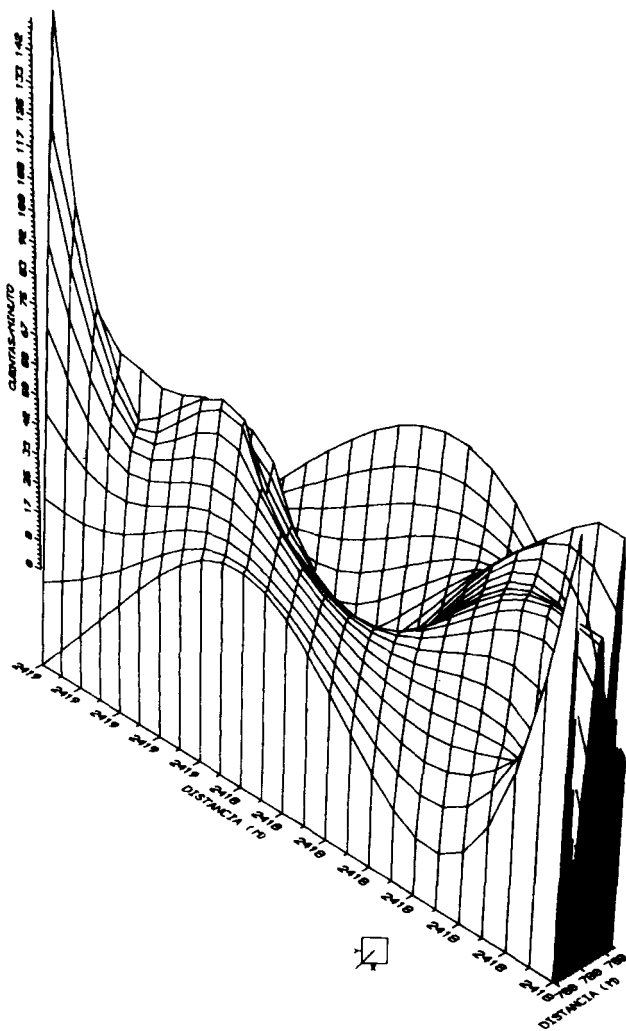


Fig. 4.- Superficie de los isovalores y mostrados en la figura 3. Los máximos en la parte norte corresponden a una falla visible. En la parte central se infieren dos fallas que bifurcadas se unen en la parte sur.

La exploración en alfa presenta tres máximos dosimétricos, uno en la zona norte, y dos en la sur de la figura 5 y la figura 6 con un mínimo en la parte central. Ambas exploraciones guardan un alto grado de similitud en el mapeo de fallas.

DETERMINACION DE LA MALLA OPTIMA DE MUESTREO

La malla óptima de muestreo, se determina en base a la teoría de regionalización de variables aleatorias (Matheron, 1971 y Hass and Viallix, 1976), donde la dependencia espacial se expresa cuantitativamente en forma de variograma. El variograma de la variable estimada, determina el espaciamiento entre las muestras en la dirección del máximo cambio.

Los variogramas se calcularon a partir de 51 y 31 datos para las radiaciones gamma y alfa respectivamente, estimándose las 4 direcciones ortogonales: E-W, N-S, Ne-Sw, Nw-Se en el área de exploración. Con medias de 56.57C/min y 4615 Bq/m³, varianzas 859.31 (C/min)² y 5814948 (Bq/m³)² y finalmente los coeficientes de varianzas 0.519 y 1.91 para gamma y alfa, estableciendo así, la relación de varianzas de los datos sin coordenadas topográficas de 1 a 4 respectivamente .

En la figura 7 y la figura 8 se estimó que la máxima distancia de detección para radiación gamma es de 150 metros y para alfa es de 200 metros (Flores,1991 y Flores et al, 1994).

El modelo de variograma estimado para gamma es esférico:

$$G(h) = 100 + 700(1.5(h/150)-0.5(h/150)^3)$$

para $h \leq a$ y $G(h) = 800$ para $h > a$, donde "h", es la distancia de separación de las muestras aleatorias y "a" es la máxima distancia de correlación intermuestral. La dirección Ne-Sw tiene la mayor varianza y la menor es en la dirección Nw-Se en promedio.

Para las partículas alfa el modelo estimado es también esférico:

$$G(h) = 1000000 + 4000000(1.5(h/200)-0.5(h/200)^3)$$

para $h \leq 200$ y $G(h) = 5000000$ para $h > 200$, en la figura 8 se observa que en la dirección Este-Oeste la máxima distancia de correlación es de 100 metros y en las direcciones Norte-Sur, Ne-Sw y Nw-Se, las distancias máximas de correlación son de 200 metros.

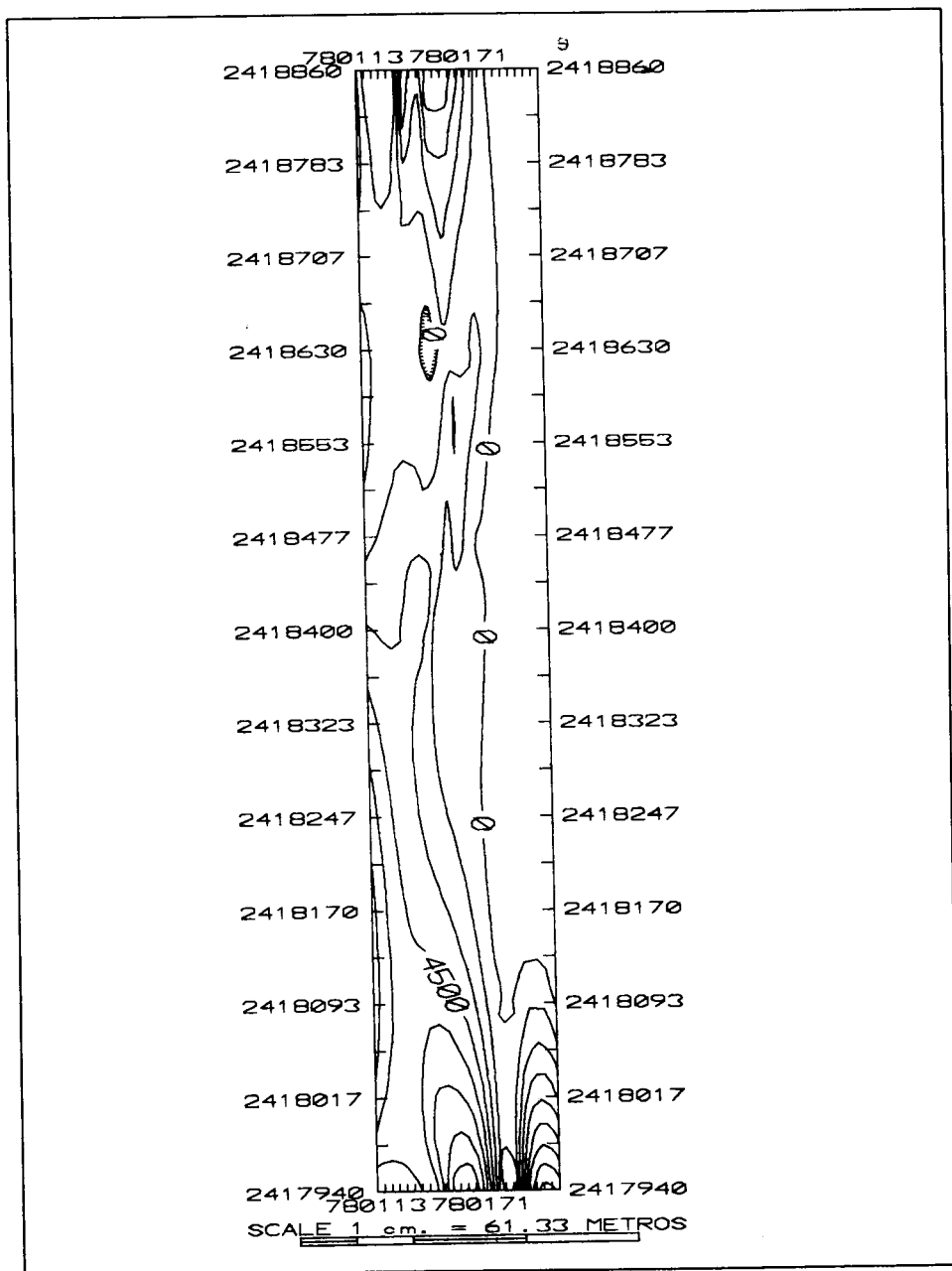


Fig. 5.- Curvas de isovalores α en la misma área que la mostrada en la figura 3 para γ . Existe una buena correlación en los tres máximos en la parte norte y central, así como el determinado en la parte sur.

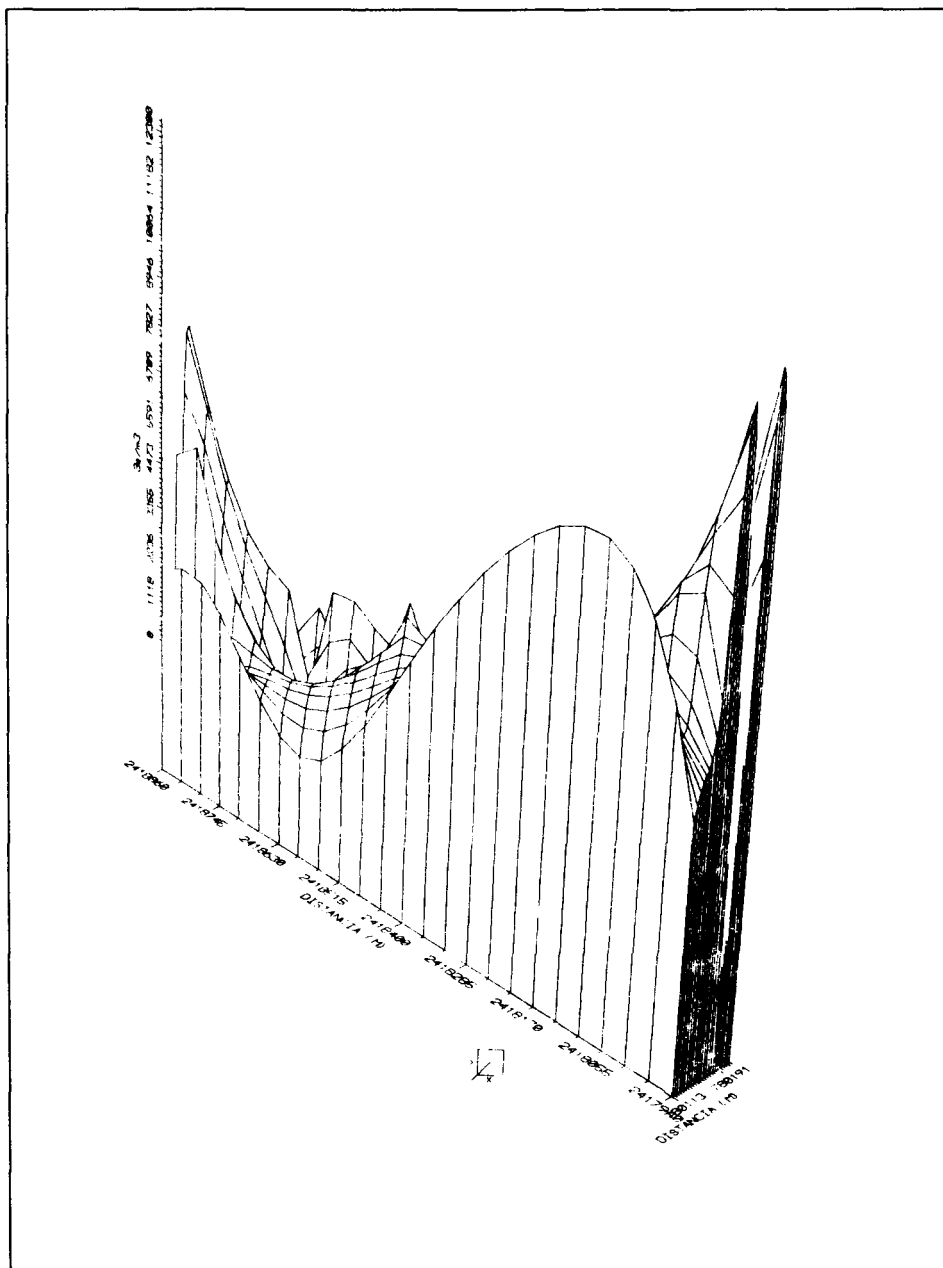


Fig. 6.- Superficie de los isovalores α mostrados en la figura 5. Los máximos tienen una buena correlación con los mostrados para γ en la figura 4, aunque en la parte sur se hacen más evidentes.

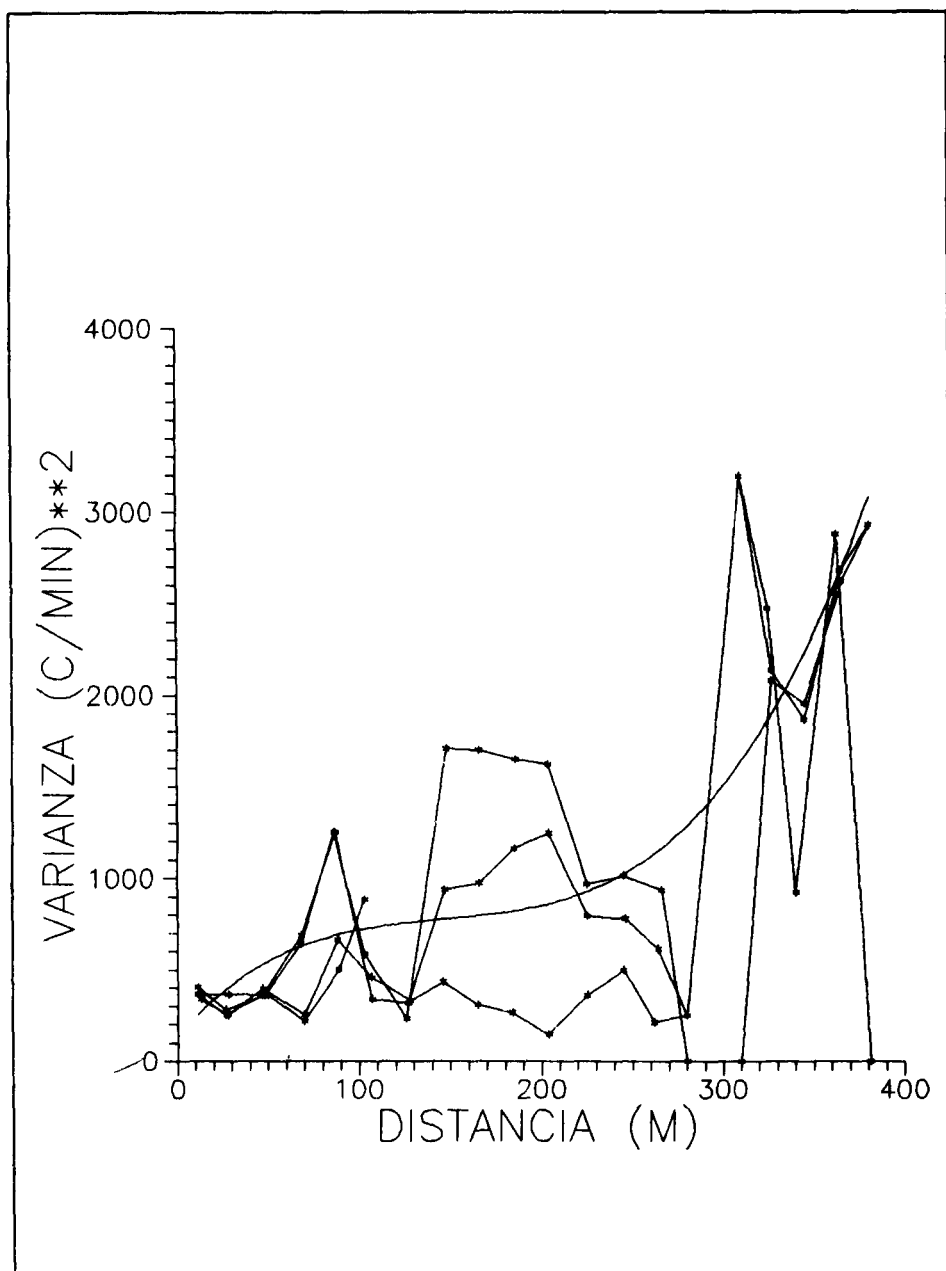


Fig. 7.- Variograma en cuatro direcciones para el muestreo y obtenido a partir de 51 muestras aleatorias. La medida es 56.6 C/minuto con una varianza de 859 (C/minuto)². El ajuste indica una máxima distancia de muestreo de 150 m.

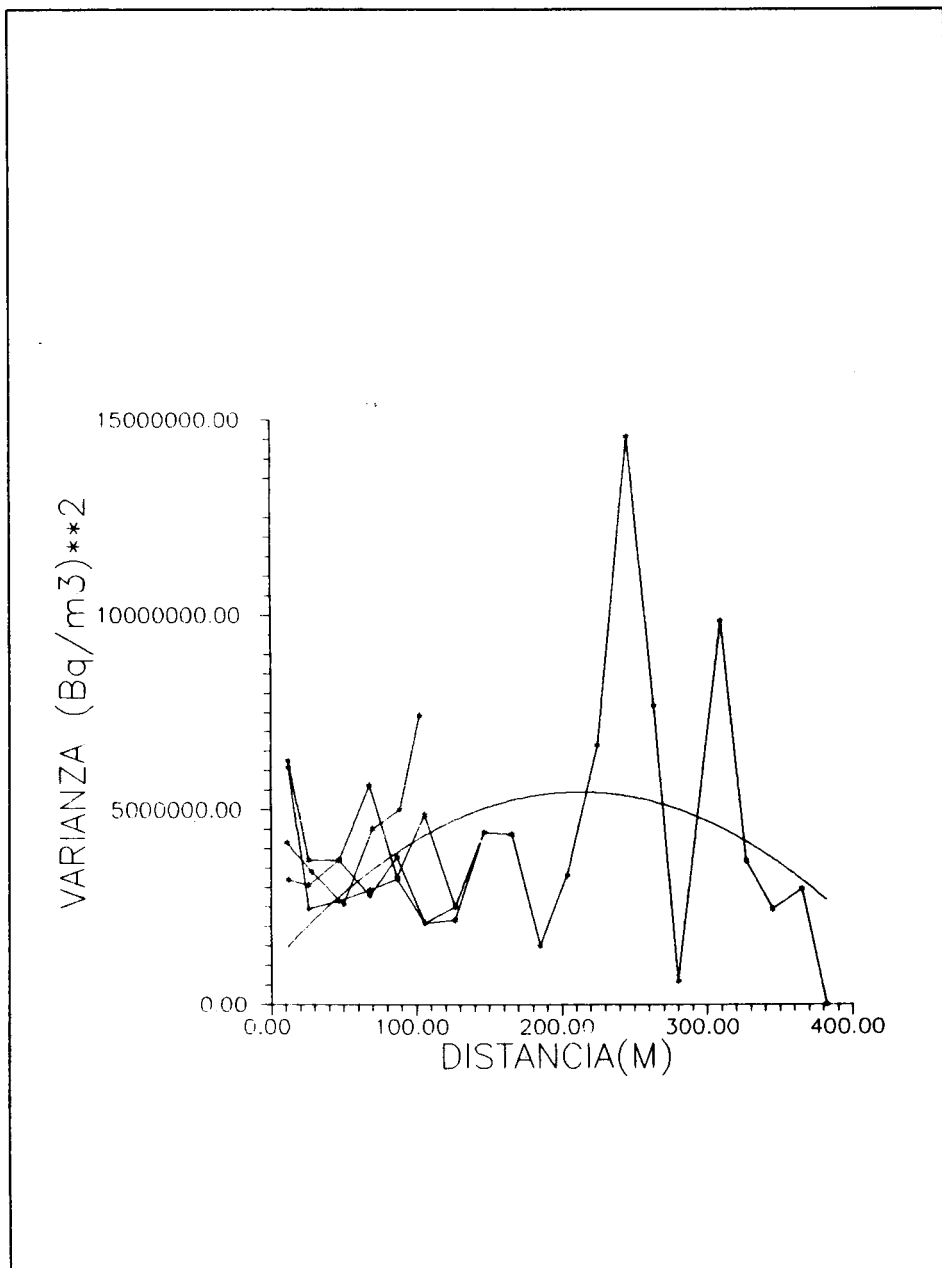


Fig. 8.- Variograma en cuatro direcciones para el muestreo α obtenido a partir de 31 muestras aleatorias. La media es de 4615 Bq/m^3 con una varianza de $5.8 \times 10^6 (\text{Bq/m}^3)^2$. El ajuste indica una máxima distancia de muestreo α de 200m.

Infiriéndose que existe anisotropía en las direcciones preferenciales antes mencionadas (Clark, 1979), estas son debidas a las direcciones de las trazas de fallas mapeadas en la exploración realizada .

CONCLUSIONES

1. Los datos de detección de radiaciones gamma y alfa en el parque Héroes Mexicanos de la ciudad de Aguascalientes, fueron realizados en forma aleatoria por primera vez, con un patrón de detección que varía de 5 a 20 metros entre las estaciones sobre la falla de interés y el seguimiento de la misma a través del parque en dirección Norte-Sur, deduciéndose de ello su máxima distancia espacial de datos o malla para futuras exploraciones en dicha área de estudio.

2. En los variogramas obtenidos a partir de 51 datos en gamma superficiales del terreno, en las cuatro direcciones ortogonales, indican que la máxima distancia de detección en gamma es de 150 metros. Para espaciamientos mayores a esta distancia máxima se pierde tanto la correlación como la definición de la anomalía. Existe una anisotropía mayor en la dirección Ne-Sw y menor en Nw-Se debido a la dirección de la traza de falla.

3. Se obtuvieron variogramas a partir de solo 31 detectores de partículas alfas, a un metro de profundidad debajo del terreno en los mismos sitios de la exploración anterior y en las cuatro direcciones preferenciales. La distancia máxima de detección en alfa es 200 metros. La anisotropía en la dirección E-W con respecto a las direcciones N-S, Ne-Sw y Nw-Se se debe a las trazas de fallas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la malla muestral para la exploración de rayos gamma tenga espaciamientos equidistantes de 150 metros, y 200 metros para la exploración en alfa para detectar el gas radón. De esta manera se define mejor el mapa estructural para futuras exploraciones en el área (Royle., 1979).

2. Para mayor detalle de las anomalías de gas radón por medio de la detección de partículas alfa a través de las estructuras geológicas (fallas, fracturas y juntas), se recomienda hacer perfiles transversales a la traza de falla, separados entre sí cada 100 metros, con una longitud del patrón de detección de 100

metros, con una longitud del patrón de detección de 100 metros en cada perfil y los detectores espaciados cada 10 metros, para así tener un mayor control de la emanación del radón (Cox., 1980).

3. Se necesita establecer la relación que existe entre las emanaciones de gas radón y la radiación gamma asociada a los minerales de Uranio, Torio y Potasio en el sitio. Por medio de la estimación conjunta de la varianza espacial entre ambas distribuciones estadísticas de las partículas alfa y gamma a través del método geoestadístico de co-kriging (Herterbrand and Cressie., 1994).

4. Para tener control de las deformaciones regionales asociadas a la zona de extensión, debida a la secuencia de grabenes, generados por el movimiento relativo de placas en el área, se sugiere tener una red de observación geodésica con monumentos fijos, sobre los lados opuestos al graben de Aguascalientes; de esta manera se pueden calcular las deformaciones horizontales y verticales en el sitio (Ruegg et al., 1979).

5. Para definir la geometría del subsuelo del graben de Aguascalientes, se sugiere hacer perfiles magnéticos en las localidades de interés a distancias de 250 a 500 metros, según se requiera el detalle del subsuelo, para modelar mejor el acuífero que subyace en el área de exploración (Flores et al., 1994).

REFERENCIAS

Chávez, A. y Balcázar G.M., 1985., Procedimiento para conteo automático de trazas nucleares de película Kodak Pathe LR-115 irradiadas con películas en geometría 2q., Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Informe AI85439.

Clark, I., 1979., Practical geostatistics. Ed. Applied Science Publisher. LTD. London p. 23.

Cox, E., 1980., Ground radon survey of a geothermal area in Hawaii, Geophys. Res. Letters. V.7., No. 4., p. 283-286.

Flores Ruiz, J.H., 1991., Diseño óptimo de esquemas de muestreo y mapeo en la exploración radiométrica de Maquixco (geos-estadística). Revista Técnica del Sutin. noviembre. p. 3-17.

Flores Ruiz, J.H., Hernández Quintero, J.E. y Gutiérrez Briones, J. 1994., Exploración magnética en el Centro Nuclear y sus alrededores. VI Simposium de Geofísica del 15 abril. Asoc. Mex. Geof. Exploración. p. 30-35

Flores Ruiz, J.H., Camacho M.E. y Balcázar G.M., 1994., Procesamiento de datos geofísicos del campo geotérmico Los Azufres Michoacán. Informe Técnico ININ., CA-94-07., octubre. p. 1-15.

Grasty R.L., 1975., Uranium measurement by airborne gamma ray spectrometry ., Geophysics V. 40., No. 3., p. 503-519.

Hass A.G. and Viallix J.R., 1976., Krigeage applied to geophysics: The answer to the problem of estimates and contouring. Geophysical Prospecting. V.24., p. 49-69.

Herterbrand J.D. and Cressie N. 1994., Universal cokriging under intrinsic coregionalization. Mathematical Geology, V. 26, No. 2.

Matheron, G. 1971., The theory of regionalized variables and its applications: Les Cahiers du Centre de Géostatistique, Fontainebleau. p. 201.

Nieto Obregón J. 1993., Oservaciones estratigráficas y estructurales de los depósitos en la zona urbana de la ciudad de Aguascalientes. Informe técnico del Instituto de Ingeniería de la UNAM. p. 1-60.

R.J. Padilla y Sánchez, V.V. Gonzalez Pacheco y colaboradores. 1989., Carta tectónica de México (versión microcomputadoras personales). Geof. Int. V. 28. No. 5. p. 1051-1052.

Royle, A.G., 1979., Why Geostatistics ?. Department of mining and mineral science. University of Leed England. p. 92-101.

Ruegg, J.C., Lépine, J.C. and Tarantola, A. 1979., Geodetic Measurements of rifting with a seismo-volcanic crisis in Afar. Geophys. Res. Lett. V. 6., N.11. November. p. 817-820.



DIMS

