

01179
4
21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO.**

MAESTRIA EN EXPLORACION DE RECURSOS ENERGETICOS DEL SUBSUELO.

TEMA DE TESIS:

"ANALISIS INTERACTIVO, INTERPRETACION E INTEGRACION DE

DATOS POTENCIALES

EN LA PORCION NORTE DE LA CUENCA DE VERACRUZ"

EDILBERTO ROMAN HERNANDEZ FLORES.

MEXICO, D.F, SEPTIEMBRE DE 1993.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
CAPITULO I (FILTRADO)	
FUNDAMENTO TEORICO	6
I.1 Filtrado Espacial	6
I.2 Filtrado Frecuencial	6
I.3 Función de Transferencia	7
I.4 Diseño de Filtros	7
I.4.a Transformada de Fourier	7
I.4.b Transformada de Fourier Rápida	8
I.4.c Espectro de Potencia	8
I.4.d Diseño de Filtros Pasa-baja, Pasa-alta y Pasa-banda	9
I.4.e Filtros de Continuación Analítica	14
I.4.f Filtro de Segunda Derivada Vertical	14
I.4.g Filtro de Reducción al Polo	15
CAPITULO II (SISTEMA DE PROCESO)	
II.1 Hardware.	
II.2 Software.	
II.3. Descripción del Sistema de Proceso.	
II.3.a Captura de Datos.(Creación y Edición de Archivos.).	
II.3.b Proceso (Análisis Espectral Unidimensional y Bidimensional).	
II.3.b.1 Análisis Espectral Unidimensional.	
Aplicación de Ventanas	21
Cálculo de la Transformada de Fourier Directa	22
Cálculo de la Transformada de Fourier Inversa	23
Cálculo del Periodograma del Espectro de Potencia	24
Cálculo de la Respuesta Frecuencial de un Filtro	25
Cálculo de la Convolución de Secuencias	26
II.3.b.2 Análisis Espectral Bidimensional.	
II.3.b.2.a Aplicación de Ventanas	26
II.3.b.2.b Transformada de Fourier	27
Cálculo de la Transformada de Fourier Directa	28
Selección del Intervalo de Muestreo	28
Redimensión de una Matriz	29
Ventana de una Matriz	30
Espectro de Potencia	31
II.3.b.2.c Captura de Filtros	32

II.3.b.2.d	Convolución (Filtrado Espacial)	33
II.3.b.2.e	Filtrado (Producto Espectral)	35
	<<Gravimetría>>	35
	Nivelación de datos	36
	Filtrado Espectral con Filtros Espaciales	36
	Filtrado Espectral con Filtros Frecuenciales	38
	Filtrado Regional (Diseño de Filtros Pasa-baja)	38
	Filtrado Residual (Diseño de Filtros Pasa-alta)	39
	Filtrado Pasa-banda(Diseño de Filtros Pasa-Banda)	40
	Continuación Analítica Ascendente/Descendente	41
	Derivadas	42
	<< Magnetometría>>	43
	Reducción al Polo	43
II.3.c	Graficación e Impresión	44
II.3.c.1	Graficación de datos unidimensionales	44
II.3.c.2	Graficación de Datos Bidimensionales	45
II.3.c.3	Graficación de Contornos y Perfiles	46
	Graficación de Contornos	46
	Graficación de Perfiles	47
	Impresión de Archivos	48
	Graficación con SURFER	49
	Conversión de Archivos	49
CAPITULO III (APLICACION DEL SISTEMA DE PROCESO)		50
III.1	Objetivos	50
III.2	Ubicación del Area	50
III.3.a	Geología	50
	Rocas Sedimentarias	50
	Rocas Igneas	50
	Extrusivas	50
	Intrusivas	51
III.3.b	Subsuelo	51
III.3.c	Estratigrafía	51
	Paleozoico	51
	Basamento	51
	Mesozoico	52
	Jurásico	52
	Cretácico	52
	Cenozoico	
	Terciario	53
	Cuaternario	55

III.3.d.Estructural	55
III.4 Metodología de Análisis Espectral y Filtrado de Datos Potenciales	55
III.5 Geofísica	57
III.5.a Gravimetría	57
III.5.b Magnetometría	58
III.5.c. Sismología	62
III.6.Integración Geofísico-Geológica	65
III.7 Conclusiones	66
III.8 Recomendaciones	67
CAPITULO IV (CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE PROCESO)	68
Bibliografía	69

INDICE DE FIGURAS

FIGURA:

- 1a FILTRO PASA-BAJA IDEAL.
- 1b FILTRO PASA-BAJA DE BUTTERWORTH.
- 2a FILTRO PASA-ALTA IDEAL.
- 2b FILTRO PASA-ALTA DE BUTTERWORTH.
- 3a FILTRO PASA-BANDA IDEAL.
- 3b FILTRO PASA-BANDA DE BUTTERWORTH.
- 4 FILTROS PASA-BAJA GAUSSIANOS (Meskó 1984).
- 5 ANOMALIA DE INT. MAG. TOTAL Y DE REDUCCION AL POLO (Correa 1990).
- 6 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE PROCESO.
- 7a PERFIL GRAVIMETRICO EN LA CUENCA DE VERACRUZ.
- 7b APLICACION DE LA VENTANA DE PARZEN AL PERFIL.
- 8a APLICACION DE LA VENTANA DE HANNING AL PERFIL.
- 8b APLICACION DE LA VENTANA DE WELCH AL PERFIL.
- 9a APLICACION DE LA VENTANA DE HAMMING AL PERFIL.
- 9b APLICACION DE LA VENTANA DE BLACKMAN AL PERFIL.
- 10a PARTE IMAGINARIA DE LA T. F. DEL PERFIL GRAVIMETRICO.
- 10b PARTE REAL DE LA T. F. DEL PERFIL GRAVIMETRICO.
- 11a ESPECTRO DE FASE DEL PERFIL GRAVIMETRICO.
- 11b ESPECTRO DE AMPLITUD DEL PERFIL GRAVIMETRICO.
- 12 TRANSFORMADA DE FOURIER INVERSA.
- 13 PERIODOGRAMA DEL PERFIL GRAVIMETRICO.
- 14 FILTRO PASA-BAJA (32 COEFICIENTES Y $F_c=0.2$).
- 15 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASA-BAJA.
- 16 CONVOLUCION DEL PERFIL GRAV. CON EL FILTRO PASA-BAJA.
- 17a RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE ARSAC.
- 17b RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE BLACKMAN.
- 18a RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE HAMMING.
- 18b RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE HANNING.
- 19 RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE PARZEN.
- 20 ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.
- 21 PARTE REAL DE LA T. F. D. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.
- 21b PARTE IMAGINARIA DE LA T. F. D. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.
- 22a ESPECTRO DE AMPLITUD DE LA ANOM. MAG. TOTAL.
- 22b ESPECTRO DE FASE DE LA ANOM. MAG. TOTAL.
- 23 TRANSFORMADA DE FOURIER INVERSA.
- 24 ANOMALIA MAGNETICA MUESTREADA A 2000 M.
- 25 REDIMENSION DE LA MATRIZ DE LA ANOM. MAGNETICA TOTAL.
- 26 VENTANA DE DATOS DE LA ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.
- 27 ESPECTRO DE POTENCIA DE LA ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.
- 28 CONVOLUCION DEL ARCHIVO AMG2.BMY CON EL OPERADOR R1.
- 29 CONVOLUCION DEL ARCHIVO AMAG2.BMY CON EL OPERADOR 2D1.
- 30 MAPA DE ELEVACIONES (en kms.s.n.m.).
- 31a ANOMALIA DE BOUGUER.
- 31b ANOMALIA DE BOUGUER CONTINUADA A 1.8 Km. s.n.m.

- 32 ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.
- 33 ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.
- 34a ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.
- 34b FILTRO PASA-BAJA DE BUTTERWORTH DISEÑADO ($F_c=0.1$).
- 35 ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.
- 35b FILTRO PASA-BAJA GAUSSIANO DISEÑADO ($k=18$).
- 36a ANOMALIA MAGNETICA RESIDUAL.
- 36b FILTRO PASA-ALTA DE BUTTERWORTH DISEÑADO ($F_c=0.25$).
- 37a ANOMALIA MAGNETICA RESIDUAL.
- 37b FILTRO PASA-ALTA GAUSSIANO DISEÑADO ($k=18$).
- 38a ANOMALIA MAGNETICA PASA-BANDA.
- 38b FILTRO PASA BANDA DE BUTTERWORTH $F_c=[0.1, 0.25]$.
- 39a ANOMALIA MAGNETICA PASA-BANDA $k=[8, 20]$.
- 39b FILTRO PASA-BANDA GAUSSIANO $k=[8, 20]$.
- 40 CONTINUACION DE LA ANOM. MAGNETICA A 5000 m.s.n.m..
- 41 FILTRO DE CONTINUACION ANALITICA ASCENDENTE.
- 42 ANOMALIA MAG. CONTINUADA A -3000 BAJO LA ALTURA DE VUELO.
- 43 FILTRO DE CONTINUACION ANALITICA DESCENDENTE.
- 44 SEGUNDA DERIVADA VERTICAL ASC. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.
- 45 FILTRO DE SEGUNDA DERIVADA VERTICAL.
- 46 ANOM. MAG. REDUCIDA AL POLO (INCL. 47.8° , DECL. 6.5°).
- 47 ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.
- 48 MAPA DE LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA.
- 49 MAPA GEOLOGICO (escala 1:250,000).
- 50 MAPA GEOLOGICO (escala 1:100,000).
- 51a POZOS PERFORADOS EN EL AREA DE ESTUDIO.
- 51b TABLA ESTRATIGRAFICA.
- 52a SECCION GEOLOGICA ESTRUCTURAL (Ochoa, 1970
- 52b SECCION GEOLOGICA ESTRUCTURAL (Gutierrez, 1973
- 53 SISTEMA DE LINEAMIENTOS (Yañez et al. 1982)
- 54 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE PROCESO.
- 55 ANOMALIA DE BOUGUER
- 56 ANOMALIA DE BOUGUER.
- 57a ANOMALIA DE BOUGUER (16x16).
- 57b MAPA DE ELEVACIONES (16x16).
- 57c CONTINUACION ANALITICA (1.8 km.s.n.m).
- 57d PERFIL GRAVIMETRICO (a).
- 57e PERFIL GRAVIMETRICO (b).
- 57f PERFIL GRAVIMETRICO (c).
- 57g PERIODOGRAMA DEL PERFIL (a).
- 57h PERIODOGRAMA DEL PERFIL (b).
- 57i PERIODOGRAMA DEL PERFIL (c).
- 57j FILTRO PASA-BANDA $F_c=[0.16, 0.37]$.
- 57k ANOMALIAS PASA-BANDA.
- 58 MAPA DE ANOMALIAS PASA-BANDA.
- 59 MAPA DE ANOMALIA REGIONAL.

- 60 MAPA DE ANOMALIAS PASA-BANDA.
- 61 MAPA DE SEGUNDA DERIVADA.
- 62 MAPA DE INTENSIDAD MAGNETICA TOTAL (Acroservice, Inc. 1980).
- 63 MAPA DE INTENSIDAD MAGNETICA TOTAL.
- 64 MAPA DE INTENSIDAD MAGNETICA TOTAL.
- 65 MAPA DE ANOMALIA MAGNETICA RESIDUAL.
- 66 MAPA DE ANOMALIA MAGNETICA RESIDUAL.
- 67 MAPA DE CONTINUACION ANALITICA ASCENDENTE.
- 68 MAPA DE CONTINUACION ANALITICA ASCENDENTE.
- 69 MAPA DE CONTINUACION ANALITICA DESCENDENTE.
- 70 MAPA DE CONTINUACION ANALITICA DESCENDENTE.
- 71 MAPA DE REDUCCION AL POLO.
- 72 MAPA DE REDUCCION AL POLO.
- 73 SECCION SISMOLOGICA 1102.
- 74 SECCION SISMOLOGICA 1323.
- 75 MAPA CON AREAS DE INTERES ECONOMICO-PETROLERO Y PROGRAMA DE LEVANTAMIENTO SISMOLOGICO.

RESUMEN

Con el objeto de proporcionar una herramienta de utilidad en la interpretación Geofísico-Geológica, se desarrolló un sistema de proceso interactivo de datos potenciales, el cual es instalado en computadora personal; básicamente el sistema permite el análisis espectral, diseño de filtros y filtrado de los datos. El filtrado digital en el dominio espacial se realiza mediante la Convolución o bien aplicando la Transformada de Fourier Inversa al Producto Espectral.

Se presenta el fundamento teórico del diseño de filtros: pasa-baja, pasa-alta y pasa-banda de Butterworth y Gaussiano, de continuación analítica, de derivadas y de reducción al polo, cuyas Funciones de Transferencia se implementaron en lenguaje Quick Basic versión 4.5.

Para este sistema de proceso, se propone una metodología de análisis espectral, diseño de filtros y filtrado de datos potenciales.

A fin de seleccionar áreas de interés económico-petrolero, el sistema diseñado se utilizó en el proceso de los datos potenciales de una área cuya ubicación geográfica está entre los paralelos 19°22' y 19°25' de Latitud Norte y los meridianos 96°25' y 97°00' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. El área estudiada pertenece a la Residencia de Exploración Puebla dependiente de la Gerencia de Exploración de la Región Norte de Petróleos Mexicanos.

Mediante la convolución de la Anomalia de Bouguer con los operadores respectivos, se obtuvieron tres mapas; de anomalía Regional, de Segunda Derivada y de anomalías residuales de Pasa-banda.

El análisis espectral de la Anomalia de Bouguer permitió diseñar dos filtros pasabanda de Butterworth. Su aplicación permitió rescatar ciertas anomalías que de corresponder a estructuras en el subsuelo conformadas por rocas del Mesozoico, se convierten en áreas de interés económico.

El límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba es inferido con la ayuda del mapa de anomalías gravimétricas de pasabanda.

El análisis espectral de la Anomalia de Intensidad Magnética Total permitió diseñar un filtro pasa-alta. De su aplicación se obtuvo un mapa de anomalías magnéticas residuales, el cual permite la asociación correcta de los dipolos presentes.

Se realizó la continuación analítica ascendente y descendente de la Anomalia de Intensidad Magnética Total a 5000 y 2000 m.s.n.m. obteniendo sus respectivos mapas.

De la interpretación Geológico-Geofísica se infiere lo siguiente:

- La prolongación hacia el NW del límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba, mapeado sismológicamente por Silva (1990) hasta las cercanías del pozo Chavarrillo-2.

- Si las anomalías gravimétricas Cuauhtemoc y Xoltepec están asociadas a estructuras conformadas por rocas del Mesozoico entonces puede decirse que los pozos Chavarrillo-1 y Jalapa-1 se perforaron en el flanco de tales estructuras .

- Las principales áreas de interés económico-petrolero son aquellas donde se ubican las anomalías gravimétricas Cuauhtemoc, Pacho Viejo, Pacho Nuevo, Terrero, Zapateña, Xoltepec, Trapiche y Chicuasén, así como, en los puntos vibrados del 300 al 624 de la sección sísmica 1102 donde se ha interpretado un sistema de cuatro bloques escalonados conformados por rocas del Mesozoico separados por fallas inversas.

- La presencia: de rocas volcánicas en superficie, de los ígneos intrusivos del tipo hipabisal cortados durante la perforación de los pozos exploratorios, así como los interpretados indican la intensa actividad magmática desde el Terciario hasta el Reciente a la cual estuvo sometida el área de estudio. Sin embargo el metamorfismo de contacto generado por los ígneos intrusivos interpretados en la sección sísmica 1102 no han afectado los hidrocarburos identificados en rocas de la Formación Orizaba del Cretácico Medio cortadas en el pozo Chicuasén-1.

- La migración de los hidrocarburos para esta porción de la Cuenca de Veracruz se ha realizado cuando menos desde el Eoceno Medio?

Se recomienda la realización de un estudio sismológico de Vibradores Mecánicos, de cuya interpretación se comprobará la existencia o no de las posibles estructuras que se suponen de interés económico, asociadas a las anomalías gravimétricas: Cuauhtemoc, Pacho Viejo, Pacho Nuevo, Terrero, Zapateña y Xoltepec.

A fin de conocer la morfología del Basamento se recomienda efectuar, con el método de Talwani, el modelado de los datos potenciales.

Con el objeto de evaluar el potencial petrolero de las rocas de Cretácico Inferior-Jurásico?, se propone profundizar 500 m. los pozos Actopan-2 y Chicuasén-1.

Por lo anterior, se concluye, que el sistema de proceso diseñado, al constituir una herramienta de interpretación Geofísico-Geológica, resuelve una de las necesidades de la Exploración de Recursos.

INTRODUCCION.

De los métodos utilizados en la Exploración de Recursos, los Potenciales son los más antiguos, la primera aplicación de la Magnetometría (Telford et al., 1990) en la exploración de yacimientos minerales es publicada por Thalén en 1879. Por su parte la aplicación de la Gravimetría en la exploración del petróleo se remonta a la década de los 20's, cuando en 1924 un pozo de prueba sobre un domo salino de Brazoria, Texas(U.S.A.) verifica la Interpretación Gravimétrica (Telford et al.,1990). Desde entonces se han desarrollado instrumentos , técnicas de campo y de interpretación que ayudan al conocimiento del subsuelo.

Los datos potenciales medidos en el campo son corregidos y configurados creando mapas de Anomalia de Bouguer y de Intensidad Magnética Total. De la configuración de la Anomalia de Bouguer se observan dos tendencias, una de ellas es uniforme y de gran extensión, a ésta se le denomina Anomalia Regional y es causada por el basamento, sus irregularidades y por posibles masas con diferente densidad dentro del mismo basamento (Diaz, 1984) . Las otras tendencias de aspecto irregular aparentan definir estructuras, a éstas tendencias se les denominan como Anomalia Residual y son provocadas por estructuras locales y menos profundas que el basamento. De un mapa de Intensidad Magnética Total, también se observan las dos tendencias, la Anomalia Regional causada por efecto del basamento, de cuerpos magnéticos intrabasamentales y/o suprabasamentales con diferente susceptibilidad. Por su característica bipolar la Anomalia Residual se observa con un número mayor de cierres positivos o negativos, los cuales son asociados a cuerpos magnéticos en superficie o dentro de la carpeta sedimentaria.

Ambas tendencias son de interés geofísico-geológico, sin embargo las anomalías residuales son de interés económico. De acuerdo con la literatura que trata la separación regional-residual de los mapas de Anomalia de Bouguer, los esfuerzos de una gran mayoría de los autores, desde 1940, se ha centrado en el conocimiento de la Anomalia Regional, ya que la Anomalia Residual es obtenida de la diferencia de los valores de la Anomalia de Bouguer menos los valores del Regional calculado. Así se desarrollaron métodos gráficos de suavizamiento manual de perfiles de la Anomalia de Bouguer, de aproximación del Regional mediante polinomios de bajo orden y métodos empíricos de rejilla, sin embargo el Regional obtenido es el mejor? y consecuentemente el Residual es el adecuado? la incertidumbre de éstas preguntas depende del conocimiento Geológico del área estudiada. Paralelamente a la obtención de los mapas residuales, para su interpretación se desarrolló el fundamento matemático de la respuesta de modelos geológicos de formas sencillas. De 1950 a 1960 otros autores al considerar la Teoría del Potencial obtienen la Anomalia Residual al calcular: la Primera y la Segunda Derivada así como la Continuación Analítica Ascendente y Descendente.

Simultáneamente otros autores discuten el tratamiento matemático de la aplicación de la Transformada de Fourier a los datos potenciales (Darby et al. 1967). La implementación en 1965 del algoritmo de la Transformada de Fourier Rápida abre un nuevo campo al procesamiento digital de señales, que involucra el análisis espectral y filtrado digital.

Una matriz de datos que representen un campo potencial puede considerarse como una superposición de campos originados por la distribución de fuentes en el subsuelo, consecuentemente los métodos lineales tales como el filtrado bidimensional, pueden utilizarse para separar algunos componentes armónicos (Darby et al., 1967). En otras palabras si los campos potenciales son considerados como señales espaciales que varían en función de la distancia, entonces a estos se les pueden aplicar el método del filtrado digital para discriminar ciertos armónicos con filtros pasa-baja, pasa-alta o pasa-banda.

Un filtro en el dominio del número de onda puede verse como un sistema lineal donde la señal de salida (mapa transformado) está en función de la señal de entrada (mapa potencial), el cociente entre la señal de entrada y la señal de salida se le conoce como Función de Transferencia o Respuesta en Frecuencia del filtro. Así si se tiene la Transformada de Fourier Directa de la matriz del mapa potencial y la función de transferencia del filtro entonces la Transformada de Fourier Inversa del Producto Espectral de estas matrices representa al mapa filtrado. El filtrado puede realizarse también en el dominio del espacio al realizar la Convolución de la matriz del mapa potencial con el operador correspondiente.

Considerando que la interpretación cualitativa y cuantitativa de los mapas potenciales está sujeta al buen proceso de los mismos, que los procesos descritos se realizan con software comercial instalado en computadoras de propósito especial, que con el análisis espectral se conoce el contenido armónico del mapa, que existen en la literatura las expresiones explícitas de las Funciones de Transferencia de los principales filtros y también suficientes operadores, se propone el diseño de un sistema de proceso interactivo donde se realice el análisis espectral, diseño de filtros, y filtrado de datos potenciales en el dominio espacial y frecuencial bidimensional. El sistema diseñado se instalará en computadora personal.

En el capítulo I se presenta: el fundamento teórico del filtrado en el dominio espacial y frecuencial. Para el filtrado espacial se analiza la Convolución bidimensional, en tanto que para el filtrado en el dominio del número de onda, básicamente se utiliza la Transformada de Fourier directa e inversa en una y dos dimensiones. Se dan las expresiones explícitas de la respuesta en frecuencia de filtros de Butterworth y Gaussianos Pasa-baja, Pasa-alta, Pasa-banda, de Continuación Analítica Ascendente-Descendente, de Derivadas y de Reducción al Polo.

En el capítulo II se describe el sistema de proceso de señales potenciales, el cuál se ha concebido tenga tres aspectos principales; menús de captura de datos, menús de proceso y menús de graficación, además, se presenta un ejemplo de cada opción de los diferentes menús.

El algoritmo del sistema de proceso se implementó en lenguaje Quick Basic versión 4.5, el volumen es de 1.2 Mb., los requerimientos mínimos de Hardware son: computadora personal con 560 Kb. de memoria Ram y disco duro, los resultados obtenidos pueden graficarse en impresora de matriz de puntos o bien en un graficador.

En el capítulo III se hace una aplicación del sistema de proceso a una área de interés económico-petrolero de la Residencia de Exploración Puebla, dependiente de la Gerencia de Exploración Región Norte de Petróleos Mexicanos.

Mediante la metodología propuesta para el análisis espectral, diseño de filtros y filtrado de datos potenciales, se obtuvieron los siguientes mapas: de Anomalías Gravimétricas de Pasa-Banda, de Anomalía Magnética Residual, de Continuación Analítica Ascendente-Descendente y de Reducción al Polo. Todos los mapas se graficaron a escala 1:100,000 con coordenadas U.T.M..

En el capítulo IV se hace la integración geofísico-geológica de la interpretación de los mapas obtenidos con la información de Geología Superficial, Geología de Subsuelo y Sismología.

CAPITULO I FILTRADO

FUNDAMENTO TEORICO

En la exploración de recursos, minerales, geotérmicos o petroleros, se han utilizado los métodos potenciales y en particular la Gravimetría y la Magnetometría. Sin embargo, a los mapas obtenidos, para que sean útiles en la interpretación cualitativa y cuantitativa, es necesario aplicarles procesos de filtrado, así; de ellos podrán reconocerse; alineamientos estructurales regionales o bien anomalías residuales asociadas a estructuras someras de interés económico. Los procesos de filtrado digital pueden realizarse, en el dominio espacial mediante la Convolución o bien, mediante el Producto Espectral en el dominio de la frecuencia (número de onda).

I.1.-Filtrado Espacial.- Es realizado mediante la convolución de la función espacial discreta con una función de peso denominada operador, y está definida por:

$$c_{x,y} = \sum_{x'=0}^{M-1} \sum_{y'=0}^{N-1} a_{x',y'} b_{x-x',y-y'} = a_{x,y} * b_{x,y} \quad (1)$$

donde $c_{x,y}$ es la función discreta filtrada, $a_{x,y}$ es la función discreta de entrada y $b_{x-x',y-y'}$ es la función de peso u operador y $*$ denota la convolución. Si $a_{x,y}$ es una matriz de datos de orden $M \times N$, $b_{x,y}$ es una matriz de orden $K \times L$, entonces $c_{x,y}$ es una matriz de orden $M+K-1$ por $N+L-1$ se observa que estrictamente el resultado de la convolución es una matriz de orden mayor que la matriz de entrada. Si se descarta el efecto de bordes (Clement, 1973) y para operadores impares, la matriz filtrada es de orden $M-K+1$ por $N-L+1$ por lo que se pierde un contorno de información de $k-1/2$ renglones y $L-1/2$ columnas, por ejemplo para $a_{64,26}$, $b_{9,9}$, $c_{56,16}$ esto, aunado al hecho de que el operador es insensible a las componentes armónicas de la señal, limita la aplicación de este proceso de filtrado.

I.2.- Filtrado Frecuencial.-Un juego de datos bidimensionales (Darby et al. 1967) de un campo potencial, puede verse como una superposición de campos originada por una distribución de fuentes del subsuelo y como consecuencia, para separar ciertas componentes de interés económico, pueden utilizarse técnicas del filtrado bidimensional. El filtrado en el dominio frecuencial (número de onda) es realizado mediante la aplicación del Teorema de la Convolución, el cuál establece que la convolución de dos señales en el dominio espacial es equivalente al producto espectral de sus transformadas de Fourier y está definido por:

$$c_{x,y} = a_{x,y} * b_{x,y} \iff C(u,v) = A(u,v) B(u,v) \quad (1a)$$

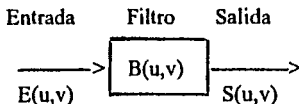
donde $A(u,v)$ es la transformada de Fourier de la matriz de datos, $B(u,v)$ es la transformada de Fourier del operador, $C(u,v)$ es la matriz resultante del producto puntual de $A(u,v)$ por $B(u,v)$ y el símbolo $\iff$ representa a la transformada de Fourier. Si a la matriz $C(u,v)$ se le aplica la transformada de Fourier inversa, entonces se obtiene la matriz filtrada es decir:

$$F^{-1} \{c(u,v)\} = c_{x,y} \quad (2)$$

1.3.-Funcion de Transferencia Un filtro $B(u,v)$ puede verse como un sistema lineal, en donde la señal de salida está en función de la señal de entrada, es decir:

$$E(u,v) = B(u,v) S(u,v) \quad (3)$$

La ecuación (3) queda ilustrada en la siguiente figura :



De la ecuación (3) se tiene que:

$$B(u,v) = E(u,v) / S(u,v) \quad (4)$$

A la relación anterior se le conoce como Función de Transferencia ó Respuesta en Frecuencia y representa el comportamiento del filtro en el dominio de la frecuencia.

1.4.-_Disño de Filtros.-Si a los campos potenciales, que son funciones espaciales que varían en función de la distancia, se les considera como señales, entonces son susceptibles a ser tratados como tales y por lo tanto aplicarles procedimientos similares de filtrado, es decir, si se conoce el Espectro de Potencia de la función potencial discreta y consecuentemente sus componentes armónicos, entonces, se pueden discriminar aquellos armónicos indeseables con filtros Pasa-baja, Pasa-alta y Pasa-banda, relacionados a efectos Regionales y Residuales. Como es sabido, de los planos Regionales se obtienen estimaciones de espesores de la carpeta sedimentaria, rasgos estructurales regionales, profundidad de Basamento...etc, de los residuales se obtienen anomalías asociadas a estructuras someras y finalmente de los pasabanda se interpretan anomalías asociadas a estructuras dentro de la carpeta sedimentaria.

1.4.a.-Transformada de Fourier.-La transformada de Fourier (T. F.), bajo ciertas restricciones, nos permite aproximar cualquier función de una o más variables dependientes a una suma de senos y cosenos; es decir, mediante la transformada conocemos los componentes armónicos.

La T. F. bidimensional discreta (Brigham, 1974) para funciones de banda limitada cuando el intervalo de truncamiento es igual al periodo, está definida por:

$$H(n/NT) = T \sum_{k=0}^{N-1} h(kT) e^{-j2\pi nk/N}, \quad n=0,1,\dots,N-1 \dots \quad (5)$$

donde T es el intervalo de muestreo.

La ecuación anterior físicamente define a una señal discreta, multiplicada por una función de truncamiento muestreada (convolucionada) con un periodo T. El truncamiento de la señal produce "Leakage", que consiste en la producción de lóbulos laterales en la función sin (f/f), lo cual implica agregar componentes adicionales de frecuencia. Para reducir tal efecto muchos autores recomiendan utilizar funciones de truncamiento (Ventanas), las más comunes son:

$$\text{Blackman : } W(n) = 0.42 + 0.5 \cos 2\pi n/N - 1 + 0.08 \cos 4\pi n/N - 1 \\ \text{para } n = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2 \quad (6)$$

$$\text{Hamming : } W(n) = 0.54 + 0.46 \cos [2\pi(2n+1)/2(N-1)] \\ \text{para } -(N/2) < n < (N/2 - 1) \quad (7)$$

$$\text{Hanning : } W(n) = 0.5 + 0.5 \cos(2\pi n/N + 1) \\ \text{para } -(N-1)/2 < n < (N-1)/2 \quad (8)$$

$$\text{Parzen : } W(n) = 1 - N - 0.5(N-1)/0.5(N-1) \quad (9)$$

$$\text{Welch : } W(n) = 1 - [(N-0.5)(N-1)/0.5(N+1)]^2 \quad (10)$$

I.4.b.- Transformada de Fourier Rápida.-Para el cálculo de la T. F. discreta, se tomó el algoritmo de la Transformada de Fourier Rápida de Brigham (1974). La implementación de una a dos dimensiones se hizo al considerar un doble cálculo, es decir primero por renglones y después por columnas.

I.4.c.- Espectro de Potencia. (Teorema de Parseval).-Este teorema establece, que la energía de una función f(x), calculada en el dominio espacial, debe ser igual a la energía de su transformada G(u) calculada en el dominio de la frecuencia, así:

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} f(x)^2 dx = \int_{-\alpha}^{\alpha} F(u) F(-u) du = \int_{-\alpha}^{\alpha} [F(u)]^2 du \quad (11)$$

Si f(x) es una función espacial real, $F(-u) = F^*(u)$, entonces la energía de la función está dada por:

$$P(u)=[F(u)]^2=R(u)^2+I(u)^2 \quad (12)$$

La expresión anterior es llamada Espectro de Potencia o Densidad Espectral. El cálculo del espectro de potencia es realizado hasta la frecuencia de Nyquist, es decir, se supone que el intervalo de muestreo es unitario, por lo que $f_N=0.5$, así :

$$P(u)^2 = \sum_{n=0}^{M-1} R(u)^2 + \sum_{n=0}^{M-1} I(u)^2 \quad (13)$$

donde n es el número de armónicos.

I.4.d.-Filtros Pasa-bajas, Pasa-altas y Pasa-banda (Lira 1990)-Las restricciones que deben cumplir estos filtros son: simetría radial, amplitud unitaria y fase cero, que son características de un filtro ideal.

- Filtro Pasa Bajas Ideal.-Su función de transferencia está dada por la siguiente relación:

$$F_{pbi}(u,v)=\begin{cases} 1 & \text{si } D(u,v) < D_0 \\ 0 & \text{si } D(u,v) > D_0 \end{cases} \quad (14)$$

donde D_0 es una cantidad positiva y $D(u,v)$ es la distancia del punto (u,v) al origen del plano frecuencial definido por:

$$D(u,v) = (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (14a)$$

-Filtro de Butterworth Pasabajas.-El filtro de Butterworth es una buena aproximación al filtro ideal, cuya función de transferencia es:

$$B_{upb}(u) = \frac{1}{1 + (f/f_c)^{2n}} \quad (15)$$

donde, f_c es la frecuencia de corte y $0 < f < f_N$, n es el exponente de precisión del filtro, si n es muy grande entonces se reduce la banda de transición, si $f=f_c$ la amplitud del filtro es 0.5. González propone una pequeña modificación a la ecuación (15):

$$F_{pbut}(u) = \frac{1}{1 + 0.414 (f/f_c)^{2n}} \quad (16)$$

Mcskó (1984) encontró prácticamente que $3 < n < 32$. En las figuras 1a y 1b se muestran las funciones de transferencia de los filtros Pasa-baja Ideal y de Butterworth.

-Filtro Pasa-alta Ideal.-Su función de transferencia esta dada por:

$$F_{pai}(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{si } D(u,v) < D_0 \\ 1 & \text{si } D(u,v) > D_0 \end{cases} \quad (17)$$

-Filtro Pasa-alta de Butterworth.-Su función de transferencia es:

$$F_{pabut}(u,v) = \frac{1}{1 + [f_c / f]^2n}, \text{ para } f > f_c \quad (18)$$

En las figuras 2a y 2b se presentan los filtros Pasa-alta Ideal y de Butterworth.

Filtro Pasa-Banda Ideal.-La función de transferencia de este filtro esta dada por:

$$F_{pbani} = \begin{cases} 0 & \text{para } D(u,v) < f_l \\ 1 & \text{para } f_l < D(u,v) < f_h \\ 0 & \text{para } D(u,v) > f_h \end{cases} \quad (19)$$

Donde f_l es la frecuencia de corte bajo y f_h es la frecuencia de corte alto.

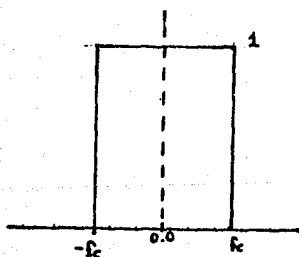


Fig. 1a Filtro Pasa-baja Ideal

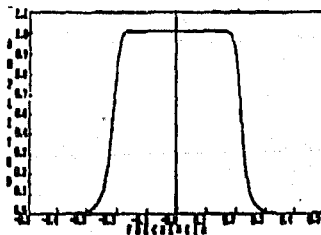


Fig. 1b Filtro Pasa-baja de Butterworth.

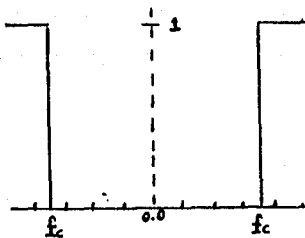


Fig. 2a) Filtros Pasa-alta Ideal

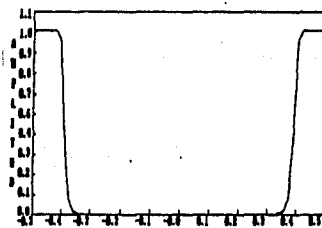


Fig. 2b) Filtro Pasa-alta de Butterworth.

-Filtro Pasa-banda de Butterworth.-La función de Transferencia de este filtro está dada por:

$$F_{pbandut}(u) = \frac{1}{1 + [f/f_n]^{2n}} \quad (20)$$

donde f_n es la frecuencia de Nyquist. En las figuras 3a y 3b se presentan los filtros pasa banda ideal y de Butterworth.

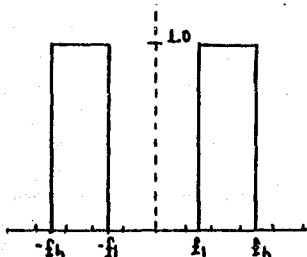


Fig. 3a) Filtro Pasa-banda Ideal

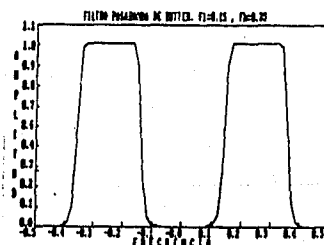


Fig. 3b) Filtro Pasa-banda de Butterworth.

En algunas aplicaciones, donde no se requiere que la banda de transición sea muy reducida, son aplicados los filtros Gaussianos, un tratamiento más amplio de ellos los presenta Mészó (1984) por lo que solo se tomaron las funciones de transferencia de ellos

-Filtros Pasa-Baja Gaussiano.-Su función de transferencia está definida por la siguiente expresión :

$$G_{\text{Gausspb}}(u,v) = e^{-(kfr)^2} \quad (21)$$

$$\text{donde } fr = [u^2 + v^2]^{1/2} \quad (22)$$

Si la frecuencia de corte, se ubica en el punto donde la función de transferencia decae a 3 dB, entonces se tiene que:

$$fc = \frac{0.588}{k}$$

Meskó (1984) sugiere valores de k entre 4 y 36, por lo que fc está entre 0.147 y 0.016. En la figura 4 se presentan cuatro filtros Pasa-baja Gaussianos.

Filtro Pasa-Alta Gaussiano.- Este filtro es obtenido a partir de un filtro pasa-baja, su función de transferencia está definida por la siguiente expresión :

$$G_{\text{Gausspa}}(u,v) = 1 - e^{-(kfr)^2} \quad (23)$$

-Filtros Pasa Banda Gaussiano.-Su función de transferencia es obtenida a partir de la diferencia de dos filtros pasabajas y está representada por la siguiente expresión :

$$G_{\text{Gausspbm}}(u,v) = C G_{\text{Gausspb1}}(u,v) - G_{\text{Gausspb2}}(u,v) \quad (24)$$

donde C es un factor de normalización y está representado por la siguiente expresión :

$$C = \frac{1}{e^{-(k_1 f_{\text{max}})^2} - e^{-(k_2 f_{\text{max}})^2}} \quad (25)$$

Las frecuencias fmax. y sus factores de normalización para algunos valores de k1 y de k2 se presentan en la tabla 1.

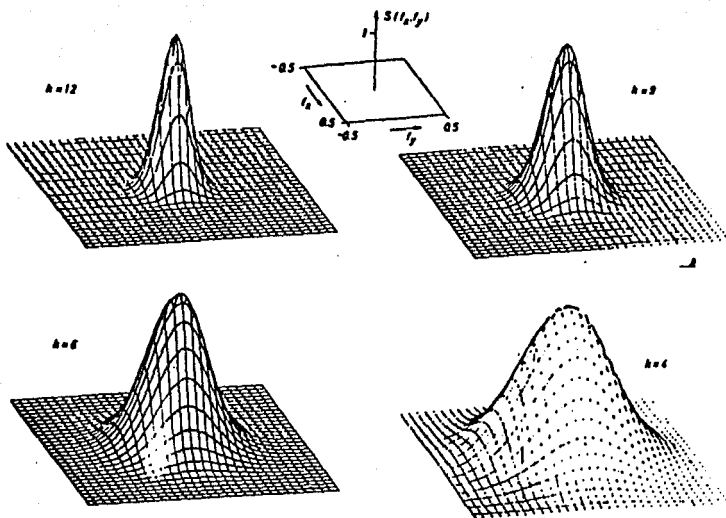


Fig. 4 Filtros Pasa-baja Gaussianos (Meskó 1984)

Parámetros		f _{rmax.}	CC(k ₁ , k ₂)
k ₁ = 3	k ₂ = 12	0.143	1.283
	15	0.122	1.191
	18	0.106	1.139
	27	0.078	1.069
	36	0.062	1.042
k ₁ = 4	k ₂ = 12	0.131	1.480
	15	0.112	1.318
	18	0.098	1.229
	27	0.073	1.113
	36	0.058	1.069
k ₁ = 5	k ₂ = 12	0.121	1.748
	15	0.104	1.480
	18	0.092	1.342
	27	0.069	1.167
	36	0.055	1.102

Tabla 1 Frecuencias f_{rmax.} y factores de normalización de filtros Gaussianos pasa-banda obtenidos de dos pasa-bajas (Meskó 1984).

I.4.e. Filtros de Continuación Analítica. En muchas aplicaciones es necesario conocer la componente vertical de un campo potencial a determinada altura h . De la Teoría del Potencial se tiene que; la continuación de un potencial $\phi(x,y,0)$ a una altura h sobre un plano $z=0$ y para una región libre de fuentes (Henderson et al. 1968) está dado por:

$$\phi(x,y,h) = \int_{-\alpha}^{\alpha} \int \frac{h \phi(\alpha, \beta, 0) d\alpha d\beta}{2\pi [(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + h^2]^{3/2}} \quad (26)$$

Un análisis de la ecuación 26 implica, necesariamente una convolución entre la función potencial y un operador definido por:

$$f(x,y,h) = \frac{h}{2\pi [x^2 + y^2 + h^2]^{3/2}} \quad (27)$$

Si a la ecuación anterior (Fuller 1967), se le aplica la T.F., se obtiene la función de transferencia o respuesta en frecuencia del filtro, definida por:

$$F_{asc}(f_x, f_y, h) = e^{-2\pi h (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}} \quad (28)$$

Mediante un proceso similar al anterior, se demuestra que el filtro de continuación descendente está definido por:

$$F_{desc}(f_x, f_y, h) = e^{2\pi h (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}} \quad (29)$$

Sandoval (1990), considera que los datos potenciales observados en topografía abrupta, aún cuando se hayan corregido por éste efecto, llevan implícito el efecto topográfico, el cuál enmascara la forma y tendencia de las anomalías rescatadas, él propone efectuar una Continuación Puntual Ascendente y Variable, la cuál depende de la diferencia de alturas entre el plano horizontal ubicado a la máxima altura y la elevación del terreno de cada estación.

I.4.f. Filtro de Segunda Derivada Vertical. Para datos que representan un campo potencial, la segunda derivada vertical (Darby et al., 1967) es obtenida de la ecuación de Laplace:

$$\frac{\delta^2 f(x,y)}{\delta z^2} = - \left[\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} \right] f(x,y) \quad (30)$$

Realizando la transformada de Fourier a la ecuación anterior, se tiene que :

$$F_{zz}(u,v) = 4\pi^2 (u^2 + v^2) F(u,v) \quad (31)$$

Así la operación de segunda derivada puede verse como una operación de filtrado, donde la respuesta en frecuencia es:

$$F_{2d} = 4\pi^2 (u^2 + v^2) \quad (32)$$

I.4.g Filtro de Reducción al Polo(Correa 1990).-La distorsión de las anomalías magnéticas, originadas por los vectores de campo magnético total y de magnetización, que en general son inclinados, no permite la asociación directa de la distribución de la magnetización en el subsuelo con la forma de la anomalía. La reducción al polo consiste en minimizar o eliminar la asimetría y el desplazamiento lateral respecto al cuerpo anómalo, de la anomalía magnética de intensidad total, causada por la desviación de la vertical de los vectores de la componente medida y de magnetización (Fig. 5).

Ya que en la región del polo magnético, el vector de campo es vertical y la dirección de magnetización suele también ser vertical, entonces, una anomalía de intensidad total reducida al polo, es equivalente a una anomalía producida por el mismo cuerpo anómalo pero situado en el polo y magnetizado únicamente por inducción.

El filtro de Reducción al Polo implementado en éste trabajo, es el que trató Correa (1990), consiste de dos filtros en el dominio de la frecuencia. El primero transforma la componente de campo medido a una componente vertical, el segundo transforma la anomalía de componente vertical a una anomalía reducida al polo, que por definición, debe ser causada por una masa magnetizada por un vector vertical. El primer filtro está definido por :

$$F = \frac{Mo(u,v)}{Mo(u,v)} = \frac{iu'l' + ivm' + [u^2 + v^2]^{1/2}}{iu'l + ivm + [u^2 + v^2]^{1/2}} n' \quad (33)$$

donde $Mo(u,v)$ y $Mo(u,v)$ son dos factores que dependen del vector de campo geomagnético medido y del nuevo vector respectivamente. Para esta componente, la inclinación es $I = 90^\circ$ por lo que sus cosenos directores son:

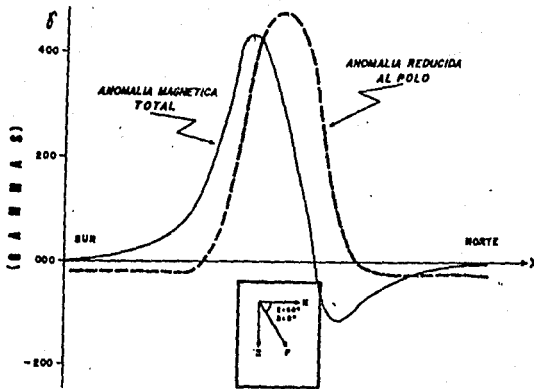


Fig. 5 Anomalia Magnética de Intensidad Total y de Reducción al Polo (Correa, 1990).

$l' = \cos I \cos D = 0$, $m' = \cos I \sin D = 0$, $n' = \sin I = 1$ (34)
sustituyendo los valores de la ecuación 34 en la ecuación 33, se tiene que

$$F_1 = \frac{[u^2 + v^2]^{1/2}}{iuL + ivm + (u^2 + v^2)^{1/2} n} \quad (35)$$

El segundo filtro, está dado por:

$$F_2 = \frac{M'm(u,v)}{Mm(u,v)} = \frac{iuL' + ivM' + [u^2 + v^2]^{1/2} N'}{iuL + ivM + [u^2 + v^2]^{1/2}} \quad (36)$$

donde $Mm(u,v)$ y $M'm(u,v)$ son dos factores que dependen de la orientación del vector de magnetización real y de magnetización en el polo.

Para éste nuevo vector de magnetización vertical, su inclinación $I_m = 90$ grados, por lo que sus cosenos directores son:

$$L' = M' = 0, N' = 1 \quad (37)$$

sustituyendo estos valores en la ecuación 36, se tiene:

$$F_2 = \frac{[u^2 + v^2]^{1/2}}{iuL + ivM + [u^2 + v^2]^{1/2} N} \quad (38)$$

donde (L,M,N) son los cosenos directores del vector de magnetización total del cuerpo anómalo.

Después de multiplicar F_1 y F_2 , se tiene que el filtro de reducción al polo es:

$$F_p(u,v) = \frac{u^2 + v^2}{[iuL + ivM + (u^2 + v^2)^{1/2} N]^{1/2} [iuL + ivM + (u^2 + v^2)^{1/2} N]^{1/2}} \quad (39)$$

Si la anomalía a reducir al polo, es originada por un cuerpo magnetizado solo por inducción, entonces la expresión 39 queda:

$$F_p(u,v) = \frac{u^2 + v^2}{[iuL + ivM + (u^2 + v^2)^{1/2} N]^2} \quad (40)$$

donde (l,m,n) son los cosenos directores del vector de campo geomagnético en la región donde se realizó la medición.

CAPITULO II

SISTEMA DE PROCESO .

En la Exploración de Recursos Mineros, Geotérmicos o Petroleros, se han utilizado los métodos potenciales y en particular la Gravimetría y la Magnetometría, sin embargo los planos obtenidos, para que sean útiles en la interpretación cualitativa y cuantitativa, es necesario efectuarles procesos de filtrado.

Hasta hace pocos años, los Geoprocesos aplicados a Datos Potenciales se realizaban en computadoras de propósito especial, ubicadas en lugares distantes de las Brigadas de Operación Geofísica y de las Residencias de Exploración, por lo que la interacción entre la información de entrada-salida y el interprete era difícil de lograr, si aunado a esto, sucede algunas veces, que los planos procesados no cumplen con los objetivos geofísicos-geológicos propuestos, por ello y considerando el gran desarrollo tecnológico de las computadoras personales, se diseñó un sistema de proceso, cuyo principal objetivo es filtrar datos potenciales en una y dos dimensiones. El filtrado se realiza en el dominio espacial mediante la Convolución de la señal potencial con el operador elegido, o bien mediante la Transformada Inversa de Fourier del Producto Espectral de las Transformadas Directas de Fourier de la matriz de datos por la respuesta en frecuencia del filtro diseñado.

II.1.-Hardware. Los requerimientos de hardware son:

- Computadora Personal con 640 Kb. en memoria RAM, disco duro y coprocesador matemático
- Monitor Monocromático o de Color.
- Impresora.
- Graficador
- Digitizador.

I.2. -Software.

-El sistema es completamente interactivo, consiste de una serie de menús y submenús, su volumen es de aproximadamente 1 Mb. y se ha implementado en lenguaje Quick Basic versión 4.5.

II.3.-Descripción del Sistema de Proceso.

Cualquier sistema de análisis de señales requiere de tres etapas:

II.3.a- Captura de datos (Creación-Edición de Archivos).

II.3.b- Proceso (Análisis Espectral unidimensional y bidimensional).

II.3.c- Graficación e Impresión de datos potenciales.

En la figura 6 se presenta el diagrama a bloques del paquete de proceso, donde se observan de izquierda a derecha y en forma de columnas las etapas enunciadas. A continuación se describe el paquete de proceso, el cual se inicia con un menú principal, donde se presentan las opciones de creación/edición de archivos, de análisis espectral y de graficación.

```

<<<< MENU PRINCIPAL >>>>
F1 MENU DE CREAC./EDIC. DE ARCHIVOS.
F2 MENU DE ANALISIS ESPECTRAL.
F3 MENU DE GRAFICACION.
F4 SALIDA DE SESION.

```

II.3.a.Captura de Datos.-Para la Creación-Edición de datos unidimensionales, se han utilizado los editores Q EDIT V 2.6, 1988 SEMWARE (F1) y NORTON V 1.3 B, 1986 REIFEL Co. (F2). Para datos bidimensionales se creó un editor bidimensional (F3) con opciones de creación, edición y modificación de archivos. Los archivos unidimensionales deberán tener extensión DAT, los bidimensionales son grabados con extensión BMY.

```

F1
<< MENU DE CREACION DE ARCHIVOS >>
F1 CREAC./EDIC. CON Q EDIT.
F2 CREAC./EDIC. CON NORTON.
F3 EDITOR BIDIMENSIONAL
F4 SALIDA A MENU PRINCIPAL
¿CUAL ELECCION?

```

```

F3
EDITOR BIDIMENSIONAL
1.-CREAC. DE UN ARCHIVO BIDIMEN.
2.-LECTURA DE UN ARCHIVO
3.-MODIFIC. DE UN ARCHIVO.
4.-SALIDA A MENU PRINCIPAL
¿CUAL ELECCION?

```

Ejemplo para crear el archivo PERFIL con el editor Norton: Se activa el editor con la opción F2, se teclea el nombre del archivo, se da <enter> y se teclean los valores de la anomalía.

```

Norton Editor
A Programmer's Full Screen Editor Version 1.3B
(C) Copyright 1986, S Reifel & Co.

```

```

1 -1150
2 -1160
3 -1170
.
.
64 -750
Line=64

```

-CAPTURA DE DATOS-

MENU PRINCIPAL

- F1 MENU DE CREAC./EDIC. DE ARCH.
- F2 MENU DE ANALISIS ESPECTRAL
- F3 MENU DE GRATIFICACION.
- F4 SALIDA DE SESION.

-P R O C E S O-

F1

MENU DE CREACION DE ARCHIVOS

- F1 CREAC./EDIC. CON 9 EDIT.
- F2 CREAC./EDIC. CON MORTON.
- F3 EDITOR BIDIMENSIONAL.
- F4 SALIDA A MENU PRINCIPAL.

CUAL ELECCION...?

F3

EDITOR BIDIMENSIONAL

- 1.-CREAC. DE UN ARCHIVO BIDIMEN.
- 2.-LECTURA DE UN ARCHIVO.
- 3.-MODIFIC. DE UN ARCHIVO.
- 4.-SALIDA AL MENU PRINCIPAL.

CUAL ELECCION...?

F1

ANAL. ESPECTRAL UNIDIMENSIONAL

- 1.-APLIC. DE VENTANAS.
- 2.-TRANSF. DE FOURIER DIRECTA.
- 3.-TRANSF. DE FOURIER INVERSA.
- 4.-ESPECTRO DE POTENCIA.
- 5.-CALC. DE COEF. DEL FILT. FIR
- 6.-RESP. FREC. DEL FILTRO FIR.
- 7.-CONVOLUCION DE SECUENCIAS.
- 8.-CORRELACION DE SECUENCIAS.
- 9.-SALIDA A MENU PRINCIPAL.

F3

OPER. ESPECTRALES UNIDIMEN.

F2

MENU DE ANALISIS ESPECTRAL

- F1 ANALISIS ESPECT. UNIDIMEN.
- F2 ANALISIS ESPECT. BIDIMEN.
- F3 OPER. ESPECT. UNIDIMEN.
- F4 SALIDA A MENU PRINCIPAL.

CUAL ELECCION...?

F2

ANAL. ESPECTRAL BIDIMENSIONAL

- F1 APLICACION DE VENTANAS.
- F2 TRANSFORMADA DE FOURIER.
- F3 DISEÑO DE FILTROS.
- F4 CONVOLUCION (FILT. ESPACIAL)
- F5 FILTRADO.
- F6 REGRESO AL MENU PRINCIPAL.

F1

APLICACION DE VENTANAS

- 1.-VENTANA UNITARIA.
- 2.-VENTANA DE ARCSAC.
- 3.-VENTANA DE BLACKMAN.
- 4.-VENTANA DE HANNING.
- 5.-VENTANA DE HANNING.
- 6.-VENTANA DE PARZEN.
- 7.-ESP. DE AMP. DE LA VENTANA.
- 8.-SALIR DE LA OPCION

F2

TRANSFORMADA DE FOURIER

- 1.-TRANSF. DE FOURIER DIRECTA.
- 2.-TRANSF. DE FOURIER INVERSA.
- 3.-SELEC. DEL INTERV. DE HUEST.
- 4.-REDIMENSION DE LA MATRIZ.
- 5.-VENTANA DE LA MATRIZ.
- 6.-ESPECTRO DE POTENCIA.
- 7.-REGRESO AL MENU ANTERIOR.

F3

CAPTURA DE FILTROS

- 1.-EDIC. DE FILT. FRECUENCIALES.
- 2.-EDIC. DE FILT. ESPACIALES.
- 3.-OPCION PENDIENTE.
- 4.-OPCION PENDIENTE.
- 5.-REGRESO AL MENU ANTERIOR.

F4 CONVOLUCION FILTRADO ESPECTRAL

- 1.-REGIONALES.
- 2.-RESIDUALES.
- 3.-PASA BANDA.
- 4.-SEGUNDA DERIVADA.
- 5.-CONT. ANAL. ASC.
- 6.-CONT. ANAL. DESC.
- 7.-SALIDA DE LA OPCION.

F1 G
F2 M
F3 R

F1 GRAVINETRIA

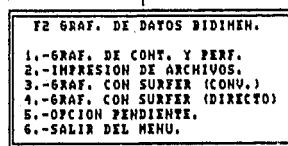
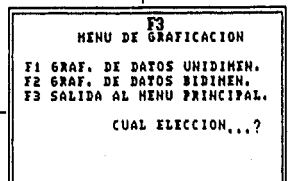
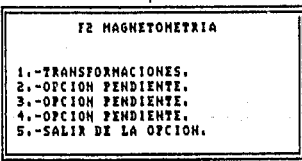
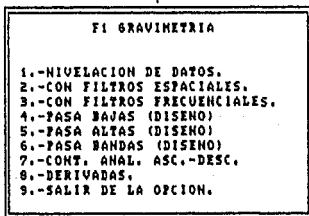
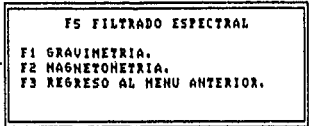
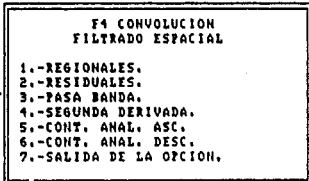
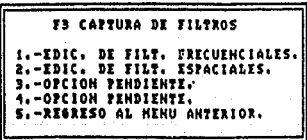
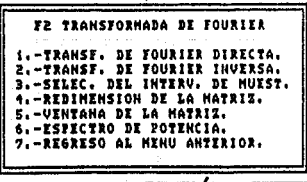
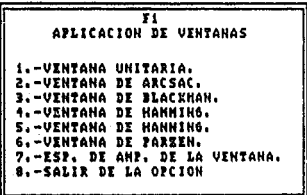
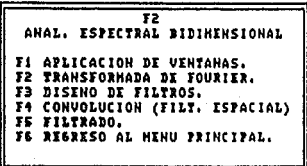
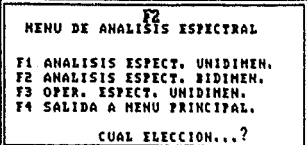
- 1.-NIVELACION DE DATOS.
- 2.-CON FILTROS ESPACIALES
- 3.-CON FILTROS FRECUENCIA
- 4.-PASA BAJAS (DISEÑO)
- 5.-PASA ALTAS (DISEÑO)
- 6.-PASA BANDAS (DISEÑO)
- 7.-CONT. ANAL. ASC.-DESC.
- 8.-DERIVADAS.
- 9.-SALIR DE LA OPCION.

MENU PRINCIPAL

- F1 MENU DE CREAC./EDIC. DE ARCH.
- F2 MENU DE ANALISIS ESPECTRAL
- F3 MENU DE GRAFICACION.
- F4 SALIDA DE SESION.

—GRAFICACION E IMPRESION—

- P R O C E S O -



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 6 DIAGRAMA A BLOQUES DEL
SISTEMA DE PROCESO

Ejemplo de la creación, modificación y lectura del archivo JACA. Para la creación se elige la opción 1 del menú del Editor Bidimensional, el programa pide el nombre del archivo y el orden de la matriz (el orden máximo es de 64 X 64).

Nombre del archivo a crear (Sin extensión)? JACA

Orden de la matriz (x,y)? 26,63

ELEMENTO x=1 y=1 :-800

ELEMENTO $x=1$ $y=2$:-802

• • • • •

• • • • •

• • • •

ELEMENTO x=26 y=63 :-547

PRESIONA <SPACE> PARA CONTINUAR

La lectura del archivo (opción 2) es necesaria, ya que permite detectar errores en la captura de los datos, para ello el programa pregunta en que drive estan los datos (A: ó C:, teclas F9 y F10) y a continuación despliega todos los archivos con extensión BMY de los cuales se seleccionará el de interés.

C:\OB45

JANI .BMY JACA .BMY AMAG2 .BMY AMAG1 .BMY

LECTURA DE UN ARCHIVO

Nombre del archivo a leer (Sin extensión)? JACA

ELEMENTO $x=1$ $y=1$:-8

ELEMENTO x=1 y=2 :-802

ELEMENTO $x=1$ $y=3$:-804

• • •

PRESIONA <ENTER> PARA CONTINUAR o <"Q"> Y <ENTER> PARA ABORTAR

ELEMENTO $x=26$ $y=63$:-547

Después de la lectura de la matriz de datos, se procede a modificar (opción 3) los datos erróneos, en el ejemplo, al archivo JACA se le modifica el elemento (1,1) cuyo valor es de -800 U.G. el cuál es reemplazado por el mismo valor para no ser alterada la matriz original.

<< MODIFICACION DE UN ARCHIVO >>

Nombre del archivo a modificar (Sin extensión) JACA

(26 x 63)

Elemento (x,y) a modificar? 1.1

Hay en 1 : -800 que se reemplazará por? -800

ESTA USTED SEGURO (S/N)? S

OTRO ELEMENTO A MODIFICAR (S/N)? N

II.3.b.Proceso (Análisis Espectral, Diseño de Filtros y Filtrado Espacial-Frecuencial)

F2

F1 ANALISIS ESPECT. UNIDIMEN.

F2 ANALISIS ESPECT. BIDIMEN.

F3 OPER. ESPECT. UNIDIMEN. (Opc. Pend.).

F4 SALIDA A MENU PRINCIPAL.

CUAL ELECCION ?

Como se observa éste menú ofrece las opciones de:

II.3.b.1. Análisis Espectral Unidimensional.

II.3.b.2. Análisis Espectral Bidimensional.

II.3.b.3. Operaciones Espectrales Unidimensionales (opción pendiente)

II.3.b.1 Análisis Espectral Unidimensional.

ANALISIS ESPECTRAL UNIDIMENSIONAL

1.-APLICACION DE VENTANAS.

2.-TRANSFORMADA DE FOURIER DIRECTA.

3.-TRANSFORMADA DE FOURIER INVERSA.

4.-ESPECTRO DE POTENCIA.

5.-CALC. DE LOS COEF. DE UN FILTRO FIR.

6.-RESP. FREC. DEL FILTRO FIR.

7.-CONVOLUCION DE SECUENCIAS.

8.-CORRELACION DE SECUENCIAS (Opc. Pend.)

9.-SALIDA A MENU PRINCIPAL.

CUAL ELECCION?

-Opción 1 Aplicación de Ventanas (Reducción de la Rizadura Espectral).-

Al perfil gravimétrico (Fig.7a) se le aplicarán las ventanas de:Parzen, Hanning, Welch, Hamming y Blackman. Para cada una de las ventanas, el programa: pregunta en que drive se tiene el archivo fuente, lista todos los archivos, de los cuales se elegirá el de interés, lee y despliega los valores máximo y mínimo, pide el nombre del archivo de salida (tres letras máximo), finalmente se presenta el menú de aplicación de ventanas, una vez seleccionada la ventana, se despliegan los datos del archivo y se introduce el intervalo de muestreo, el archivo se graba como ???XW.DAT .

En que drive están tus archivos de datos fuente? (con Path):

LISTA DE ARCHIVOS UNIDIMENSIONALES PARA ANALISIS ESPECTRAL

1.-El volúmen en

2.-DIR DAT

3.-HAMM DAT

4.-.

5.-.

6.-.

15.-PERFIL DAT

ELIGE EL NUMERO DE ARCHIVO QUE REQUIERES: 15

¿Nombre del archivo de salida sin extensión (tres letras)? PRUEBA

se leyeron 64 datos

xmax=64 xmin=1

ymax=-512 ymin=-1170

número de puntos: 64

MENU DE VENTANAS

0 = VENTANA UNITARIA.

1 = VENTANA DE PARZEN.

2 = VENTANA DE HANNING.

3 = VENTANA DE WELCH.

4 = VENTANA DE HAMMING

5 = VENTANA DE BLACKMAN.

INTRODUCIR EL NUMERO DE LA VENTANA DESEADA :1

INTERVALO TEMPORAL DE MUESTREO? :1

PRESIONA [ENTER] PARA CONTINUAR.

GRABANDO ARCHIVO PARXW.DAT

En las figuras 7b, 8a, 8b, 9a y 9b se han graficado la aplicación de las ventanas de Parzen, Hanning, Welch, Hamming y Blackman al perfil.

- Cálculo de la Transformada de Fourier Directa (opción 2). Cuando esta opción es seleccionada, el programa pregunta en que drive están ubicados los datos, lista todos los archivos, pide el nombre del archivo de salida, lee los valores máximo y mínimo, pide el número de datos a procesar, calcula la Transformada Directa, y finalmente se graban los archivos ???PR, ???PI, ???AM, ???FA todos con extensión ESP.

en que drive están archivos de datos fuente ? con path:

LISTA DE ARCHIVOS UNIDIMENSIONALES PARA ANALISIS ESPECTRAL

1.-LIS DAT

2.-PERCV DAT

3.- PERFIL DAT

ELIGE EL NUMERO DE ARCHIVO QUE REQUIERES: 3

NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA SIN EXTENSION (TRES LETRAS)?= TFP

SE LEYERON 64 DATOS

XMAX=64 XMIN=1

YMAX=-512 YMIN=-1170

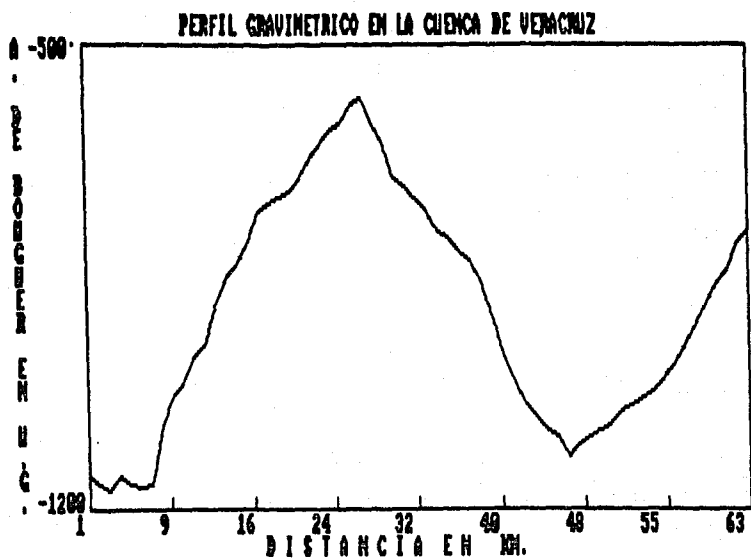


Fig. 7a PERFIL GRAVIMETRICO EN LA CUENCA DE VERACRUZ.

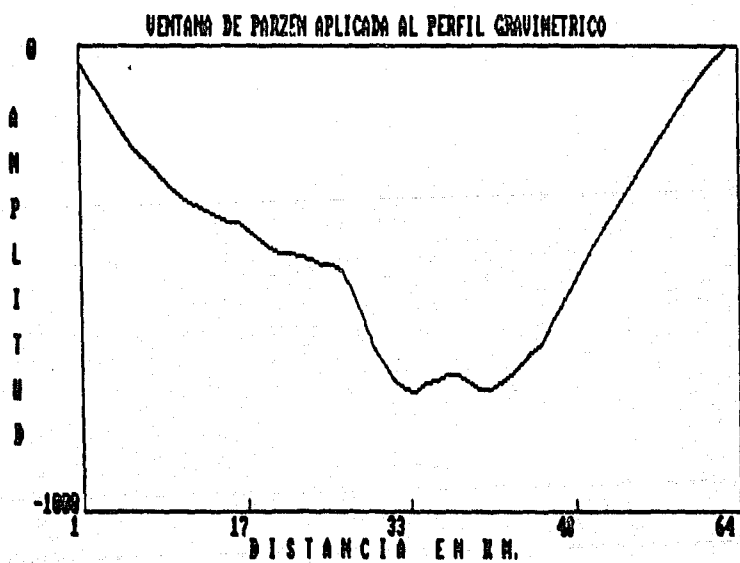


Fig. 7b APLICACION DE LA VENTANA DE PARZEN AL PERFIL.

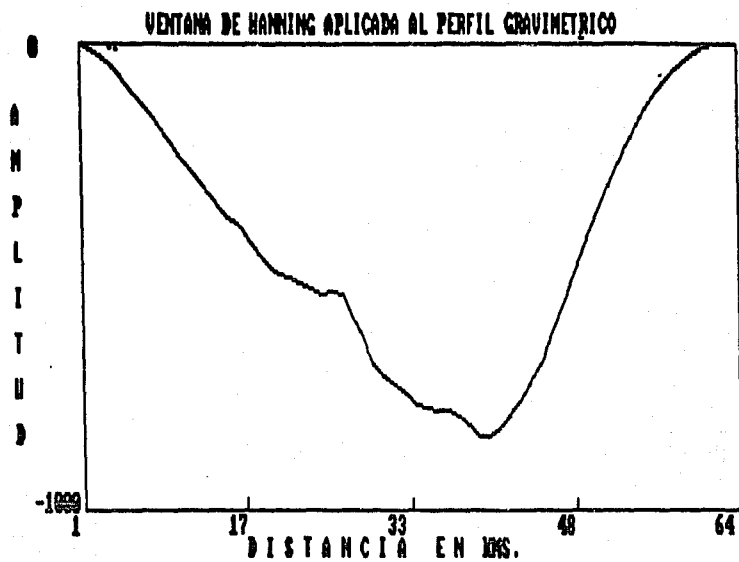


Fig. 8a APLICACION DE LA VENTANA DE HANNING AL PERFIL.

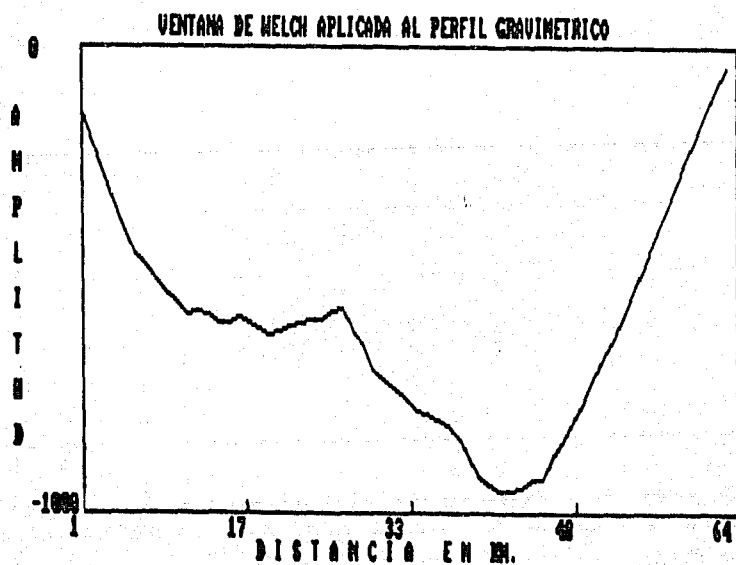


Fig. 8b APLICACION DE LA VENTANA DE WELCH AL PERFIL.

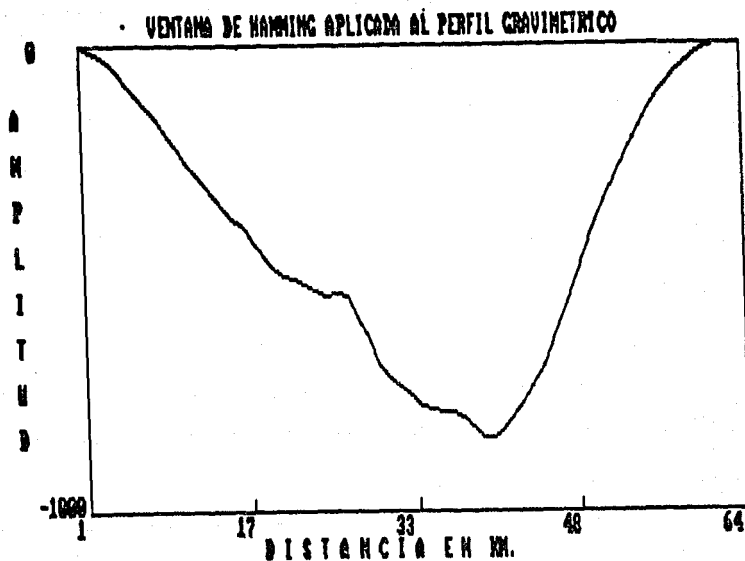


Fig. 9a APLICACION DE LA VENTANA DE HAMMING AL PERFIL.

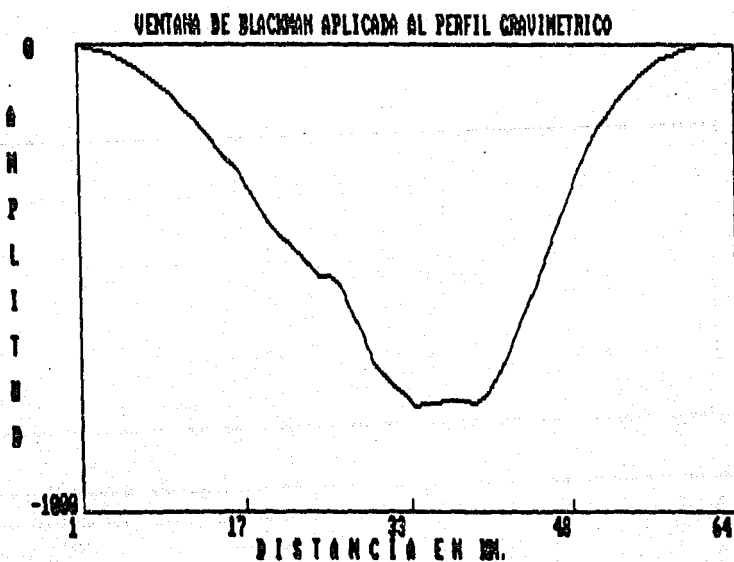


Fig. 9b APLICACION DE LA VENTANA DE BLACKMAN AL PERFIL.

PRESIONA [ENTER] PARA CONTINUAR

NUMERO DE PUNTOS : 64

TRANSFORMADA DIRECTA [INTRODUCIR 0] : 0

SE GRABARON LOS ARCHIVOS : (?PR, ?PI, ?AM, ?FA,).ESP

En las figuras 10a, 10b, se han graficado; las partes imaginaria y real de la T. F. del perfil gravimétrico, y en las figuras 11a y 11b se presenta su espectro de fase y de amplitud.

-Cálculo de la Transformada Inversa de Fourier (opción 3). Para ésta opción, el programa pregunta en que drive estan las partes real e imaginaria, lee los valores máximo y mínimo, pregunta: el intervalo frecuencial de muestreo, el nombre del archivo de salida y finalmente se graba el archivo ???RE.DAT.

SELECCIONA LA PARTE REAL DE TU ARCHIVO

PRESIONA [ENTER] PARA CONTINUAR

LISTA DE ARCHIVOS UNIDIMENSIONALES PARA ANALISIS ESPECTRAL

1.-TFPPI ESP

2.-TFPPR ESP

ELIGE EL NUMERO DE ARCHIVO QUE REQUIERES: 2

SE LEYERON 64 DATOS:

XMAX=.984375 XMIN=0

YMAX=1025.359 YMIN=-57655

NUMERO DE PUNTOS : 64

SELECCION DE LA PARTE IMAGINARIA

PRESIONA [ENTER] PARA CONTINUAR

LISTA DE ARCHIVOS UNIDIMENSIONALES PARA ANALISIS ESPECTRAL

1.-TFPPI ESP

2.-TFPPR ESP

ELIGE EL NUMERO DEL ARCHIVO QUE REQUIERES : 1

SE LEYERON 64 DATOS:

XMAX=.983475 XMIN=0

YMAX=4302.34 YMIN=-4302.34

TRANSFORMADA INVERSA [INTRODUCIR 1] :

NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA SIN EXTENSION (TRES LETRAS)?=TFI

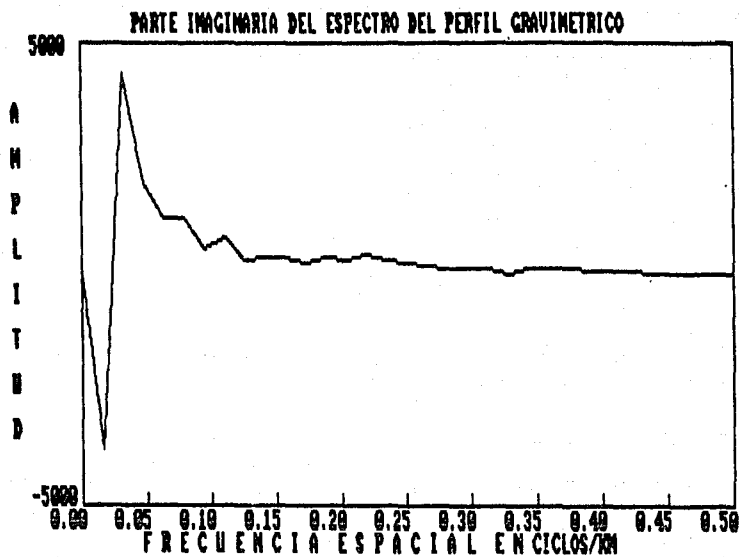


Fig. 10a PARTE IMAGINARIA DE LA T. F. D. DE PERFIL GRAVIMETRICO.

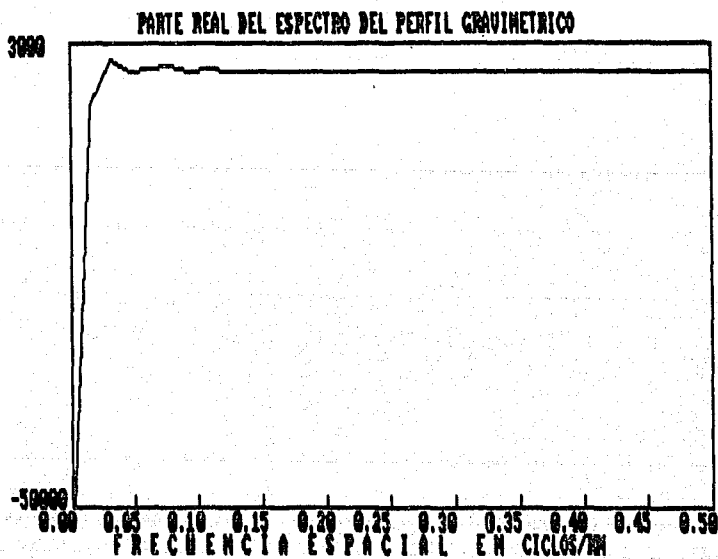


Fig. 10b PARTE REAL DE LA T. F. D. DEL PERFIL GRAVIMETRICO.

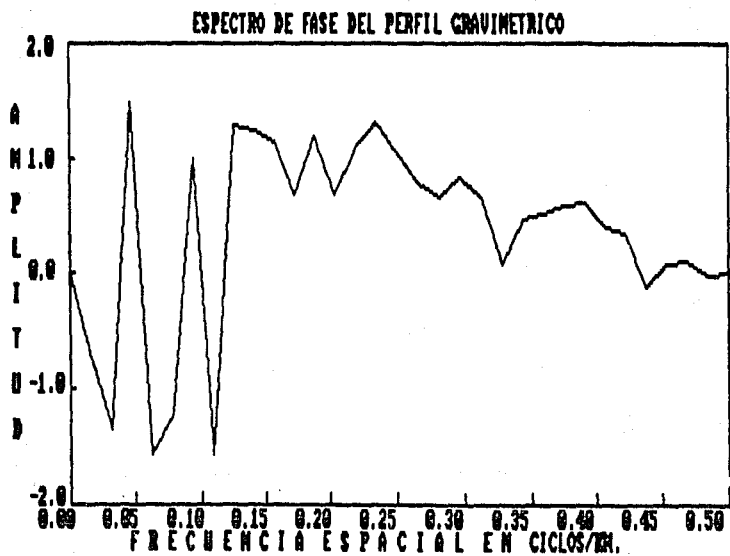


Fig. 11a ESPECTRO DE FASE DEL PERFIL GRAVIMETRICO.

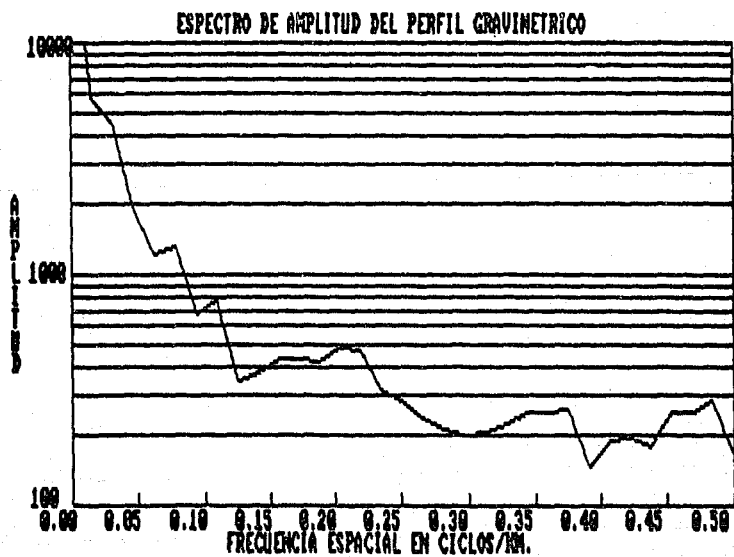


Fig. 11b ESPECTRO DE AMPLITUD DEL PERFIL GRAVIMETRICO

En la figura 12 se presenta la T. F. Inversa de los archivos TFPPR.ESP y TFPPI.ESP, la cual corresponde al perfil de la anomalía gravimétrica original.

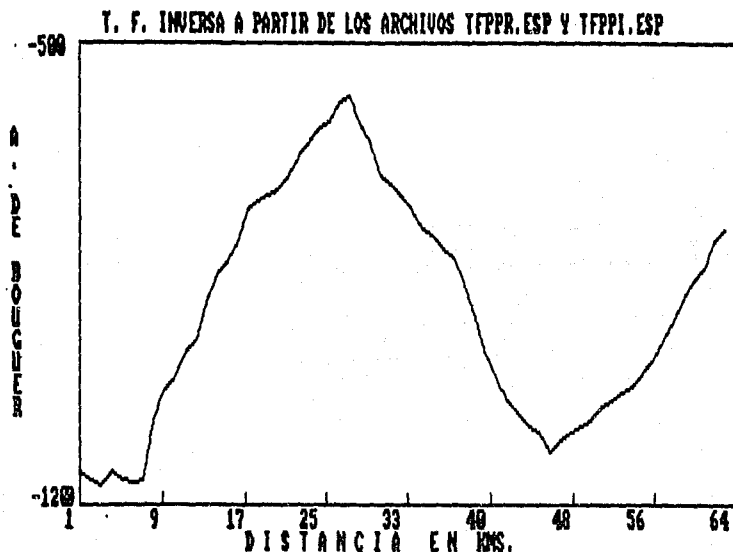


Fig. 12 TRANSFORMADA DE FOURIER INVERSA

-Cálculo del Periodograma del Espectro de Potencia (opción 4). De la misma forma que las opciones anteriores, el programa pregunta en que drive están los datos, lista todos los archivos DAT, pide el nombre del archivo de salida, despliega los valores máximo y mínimo de los datos, evalúa la T. F. directa y finalmente se manda a grabar los archivos ???SR.ESP. En la figura 13 se presenta el periodograma del perfil gravimétrico .

-Cálculo de los coeficientes de un filtro FIR (opción 5). En esta opción se diseñan filtros pasa-baja y pasa-alta. El programa pregunta: la longitud (coeficientes) del filtro, la frecuencia de corte, si se desea o no la componente directa, tipo de filtro, nombre del archivo de salida y finalmente se graba el archivo ???FR.FIR. En la figura 14 se presenta el filtro pasa-baja con $f_c=0.2$ y con 32 coeficientes.

INTRODUCIR LA LONGITUD DEL FILTRO [BASE DOS]: 32

INTRODUCIR LA FRECUENCIA DE DISEÑO [0.0-0.5]: 0.2

FILTRO PASA-BAJA =0, FILTRO PASA-ALTA =1

NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA SIN EXTENSION (TRES LETRAS) HEE

GRABANDO EL ARCHIVO ?FR.FIR

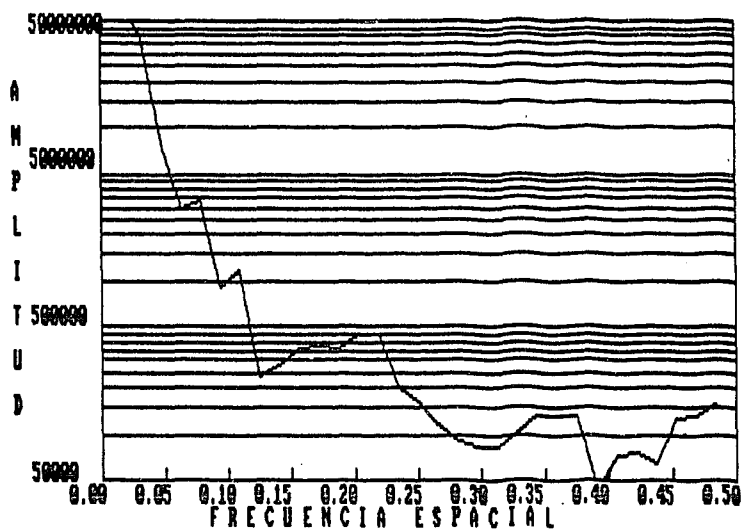


Fig.13 PERIODOGRAMA DEL PERFIL GRAVIMETRICO.

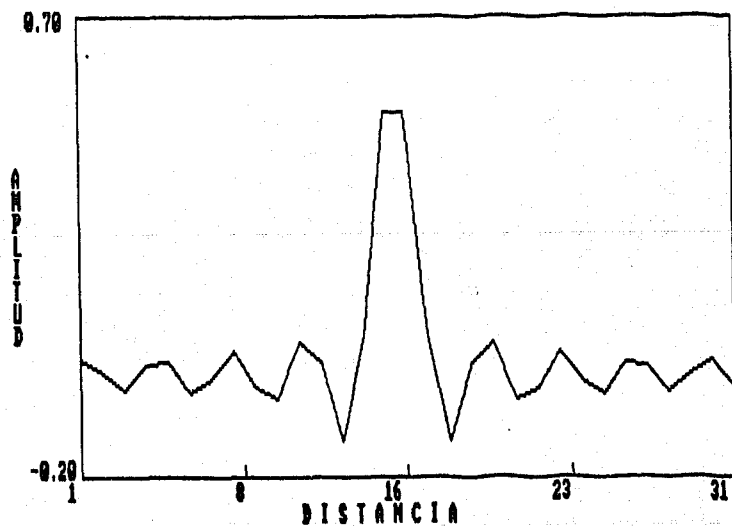


Fig. 14 FILTRO PASA-BAJA (32 COEFICIENTES Y $F_c=0.2$).

-Cálculo de la respuesta frecuencial de un filtro (opción 6). En esta opción, el programa, pregunta en que drive están los datos, lista de todos los archivos con extensión FIR, pide el nombre del archivo de salida, lee los valores máximo y mínimo, pide el número de puntos a evaluar, el intervalo frecuencial de muestreo y finalmente se graba el archivo ???FR.DAT. En la figura 15 se ha graficado la respuesta en frecuencia del filtro pasa-baja diseñado.

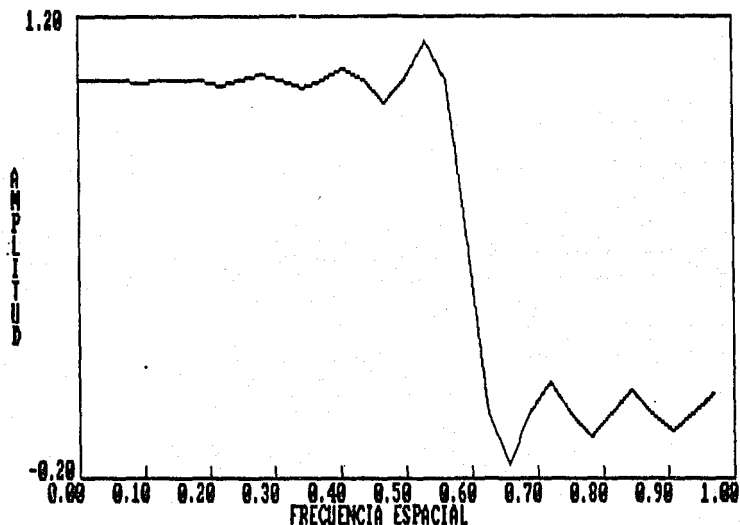


Fig. 15 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL FILTRO PASA-BAJA

-Cálculo de la convolución de secuencias (opción 7). Para esta opción, el programa pregunta en que drive están los archivos a procesar, de la lista desplegada se selecciona el operador y la señal a convolucionar (en este ejemplo se tomó el operador de la figura 15 y el perfil gravimétrico), finalmente se graba el archivo ???CV.DAT. En la figura 16 se presenta la convolución.

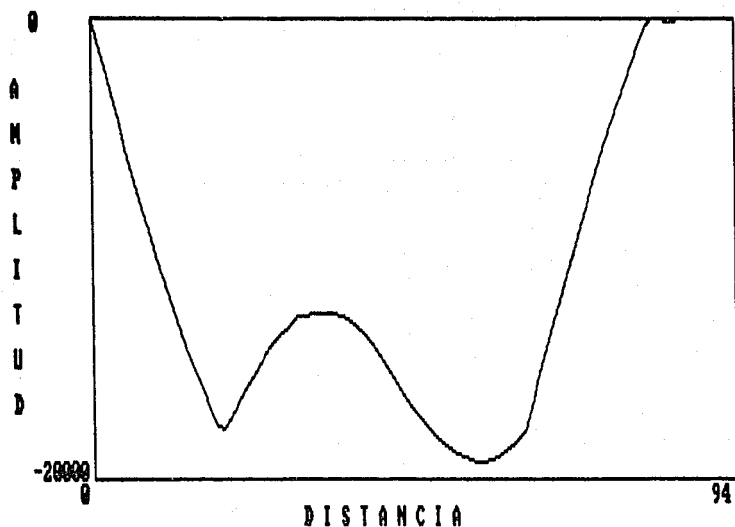


Fig. 16 CONVOLUCION DEL PERFIL GRAVIMETRICO CON EL FILTRO PASA-BAJA.

II.3.b.2- Análisis Espectral Bidimensional.

[F2]

ANALISIS ESPECTRAL BIDIMENSIONAL

- F1 APLICACION DE VENTANAS
- F2 TRANSFORMADA DE FOURIER
- F3 EDICION DE FILTROS
- F4 CONVOLUCION (Filtrado Espacial)
- F5 FILTRADO
- F6 REGRESO AL MENU ANTERIOR

Cuál opción?

II.3.b.2.a. Aplicación de Ventanas. Para obtener las ventanas de este menú es necesario, tomar como entrada, una matriz de datos (de 32x32 en el ejemplo). Para cada ventana, el programa pregunta en que drive se encuentra el archivo de entrada sobre el que se aplicará la ventana, después del despliegue, se presenta el menú de ventanas de las que se elige una, se teclean el nombre del archivo de entrada y de salida, es opcional observar los resultados, finalmente se manda a grabar el archivo con extensión WN2.

En las figuras 17a, 17b, 18a, 18b, y 19 se presenta un corte transversal de las ventanas de Arsac, Blackman, Hamming, Hanning y de Parzen.

¿En que Drive están tus datos fuente?

CA ESPECTRO

AMAG2.BMY AC.BMY JA.BMY JACA.BMY

<< FUNCION VENTANA >>

- 1).-VENTANA UNITARIA
- 2).-VENTANA DE ARSAC
- 3).-VENTANA DE BLACKMAN
- 4).-VENTANA DE HAMMING
- 5).-VENTANA DE HANNING
- 6).-VENTANA DE PARZEN
- 7).-ESPECTRO DE AMPLITUD DE LA VENTANA
- 8).-SALIR DE OPCION

Introduzca el número de la opción deseada

2

Introduzca el nombre del archivo de entrada

AMAG2

Introduzca el nombre del archivo de salida

TEST

Procesando Espere un momento por favor

¿Desea desplegar los resultados? [S/N] N

¿Desea grabar la Ventana? [S/N] S

Nombre de salida de la Ventana (sin extensión)

AR

Grabando el archino AR.WN2

II.3.b.2.b Transformada de Fourier (opción F2). Cuando es seleccionada esta opción, el programa pregunta en que drive se encuentran los datos a procesar, y posteriormente se despliega el siguiente menú de opciones :

<<< TRANSFORMADA DE FOURIER >>>

- 1).- Transformada de Fourier Directa.
- 2).- Transformada de Fourier Inversa.
- 3).- Selección del Intervalo de Muestreo.
- 4).- Redimensión de la Matriz.
- 5).- Ventana de una Matriz.
- 6).- Espectro de Potencia.
- 7).- Regresar al menú anterior.

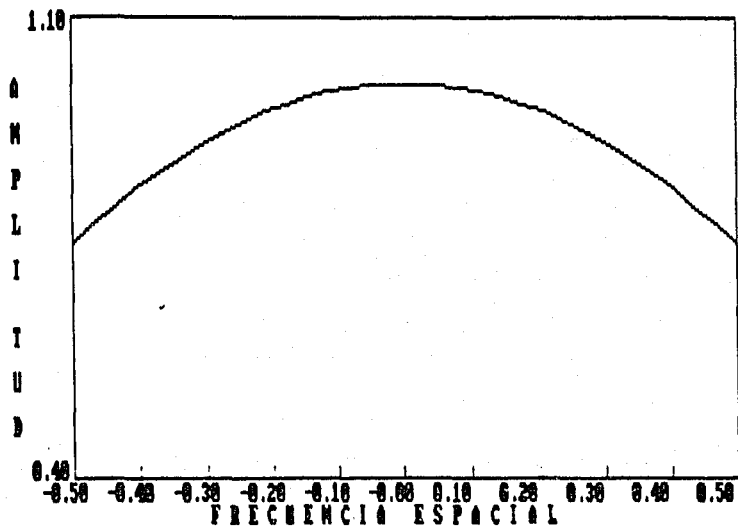


Fig. 17a RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE ARSAC.

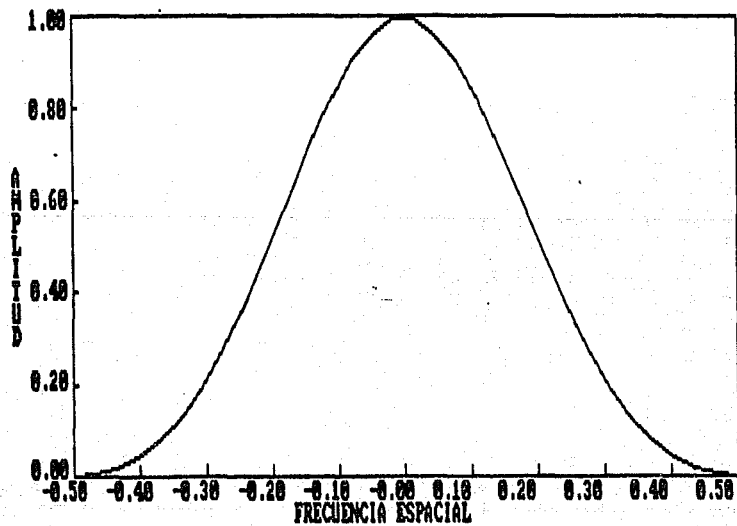


Fig. 17b RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE BLACKMAN.

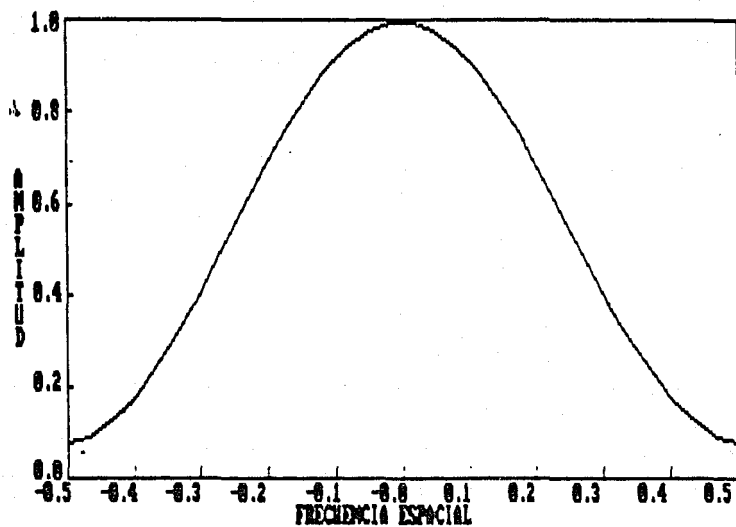


Fig. 18a RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE HAMMING.

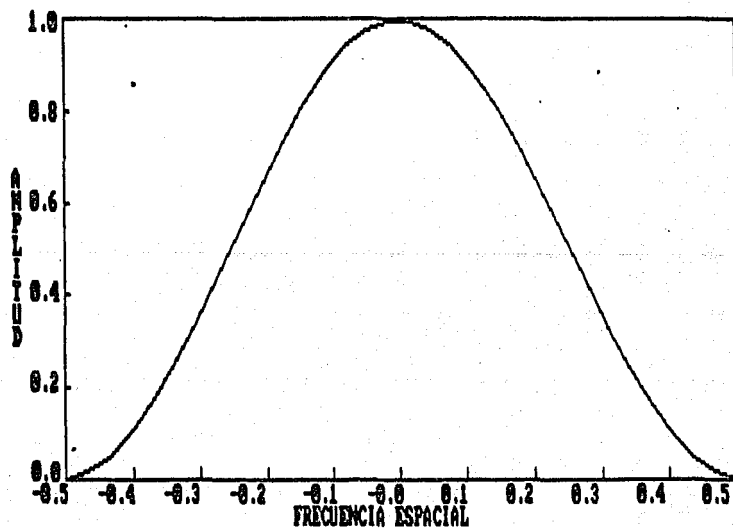


Fig. 18b RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE HANNING.

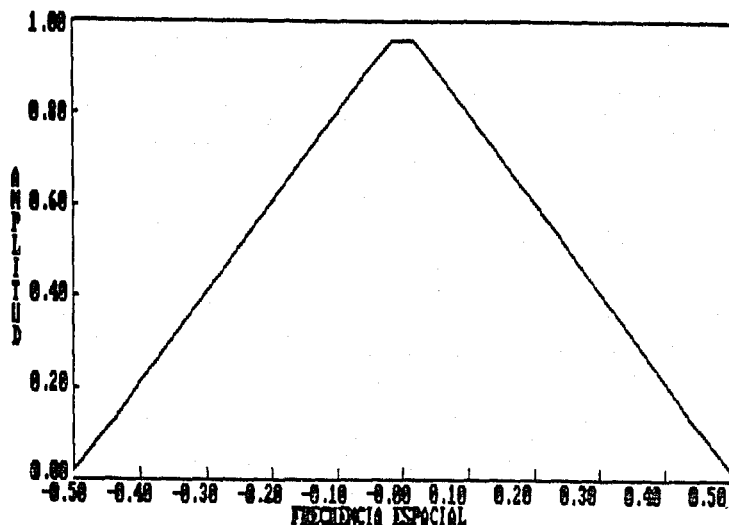


Fig. 19 RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA VENTANA DE PARZEN.

-Transformada de Fourier Directa (opción 1). El programa pide el nombre del archivo a transformar (AMG2.BMY, Fig. 20) el cuál corresponde a la Anomalía Magnética del Area de Estudio, lee los datos, despliega los resultados y se graban los archivos AMG2.FPR, AMG2.FPI, AMG2FAM, AMG2.FFA que son graficados en las figuras 21a, 21b, 22a y 22b.

-Transformada de Fourier Inversa (opción 2). Para esta opción, el programa pregunta el nombre del archivo a transformar y automáticamente toma la parte real e imaginaria generadas en la opción anterior (AMG2.FPR y AMG2.FPI), finalmente se manda a grabar el archivo AMG2.FMY. En la figura 23 se presenta la T. F. Inversa la cual corresponde al archivo AMG2.BMY

-Selección del intervalo de muestreo (opción 3). Cuando se elige esta opción el programa responde que los datos están separados uniformemente a cada 1000 metros. Tomese como si fuera un intervalo de muestreo unitario, de tal manera, de que si se quiere tomar una muestra a cada 2 intervalos, introduzca el valor de 2000 y obtendrá una matriz de la mitad de la matriz original, finalmente se manda a grabar el archivo ???T2.BMY. En la figura 24 se presenta la Anomalía Magnética con un intervalo de muestreo igual a 2.

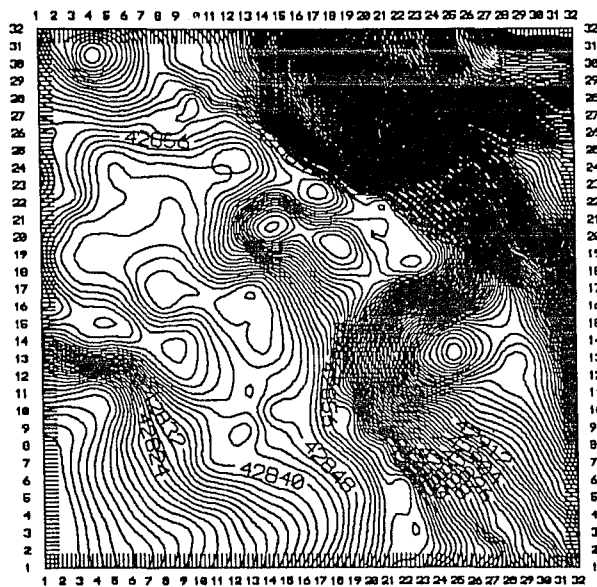


Fig. 20 ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.

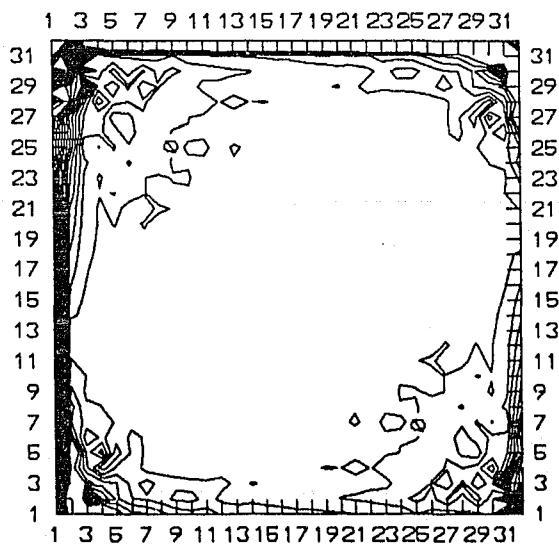


Fig. 21a PARTIE REAL DE LA T. F. D. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.

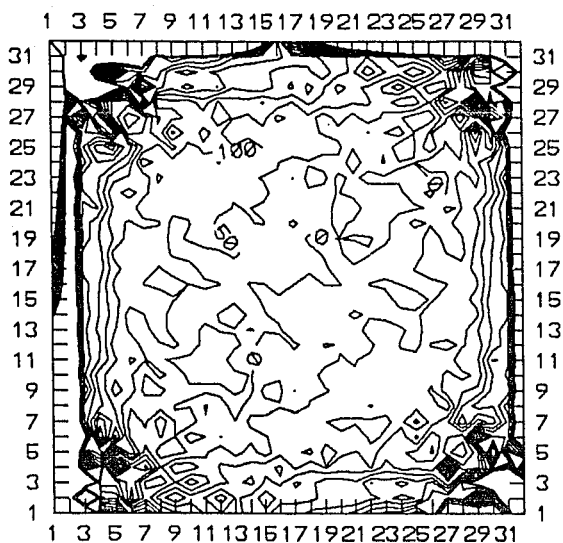


Fig. 21b PARTE IMAGINARIA DE LA T. F. D. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.

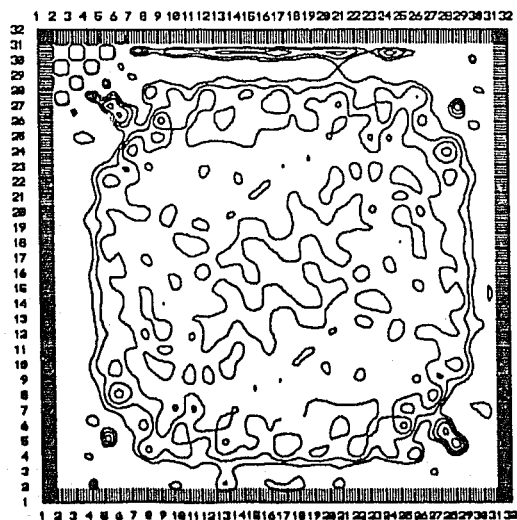


Fig. 22a ESPECTRO DE AMPLITUD DE LA ANOM. MAG. TOTAL.

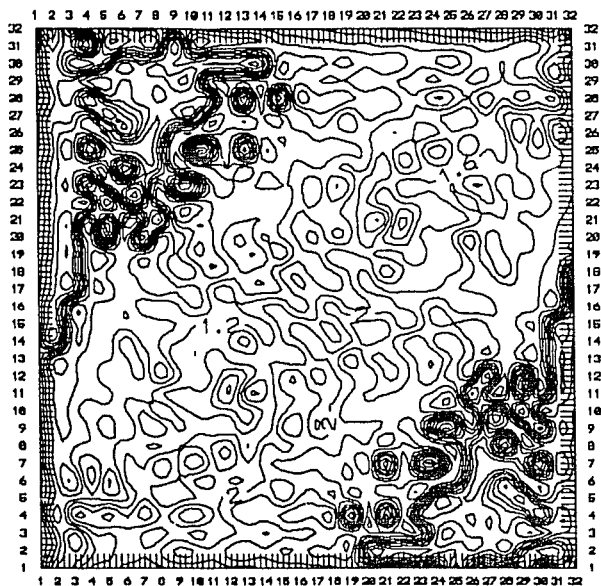


Fig. 22b ESPECTRO DE FASE DE LA ANOM. MAG. TOTAL.

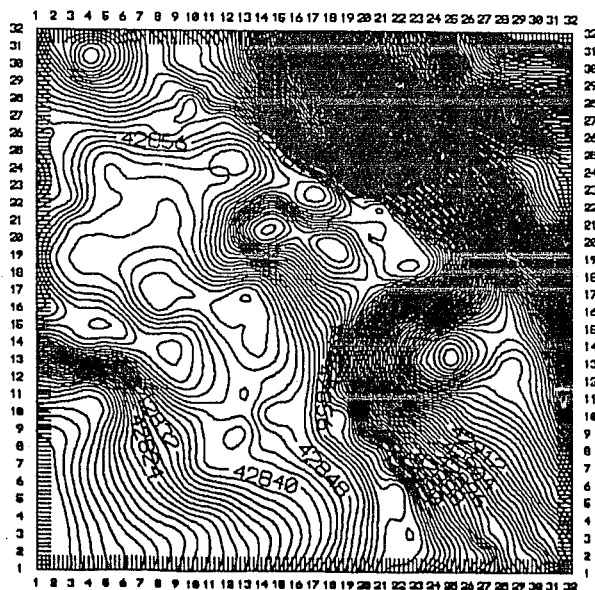


Fig. 23 TRANSFORMADA DE FOURIER INVERSA.

Normalmente los archivos tienen un intervalo de muestreo de 1000 m.

Desea usted cambiar el intervalo inicial (S/N) ? S

Nombre del archivo a cambiar (Sin extensión) AMAG2 (32x32)

Introduzca el nuevo intervalo de muestreo (en metros) 2000

El nombre del archivo ya cambiado es : AMAG2T

Grabando el archivo AMAG2T2.BMY

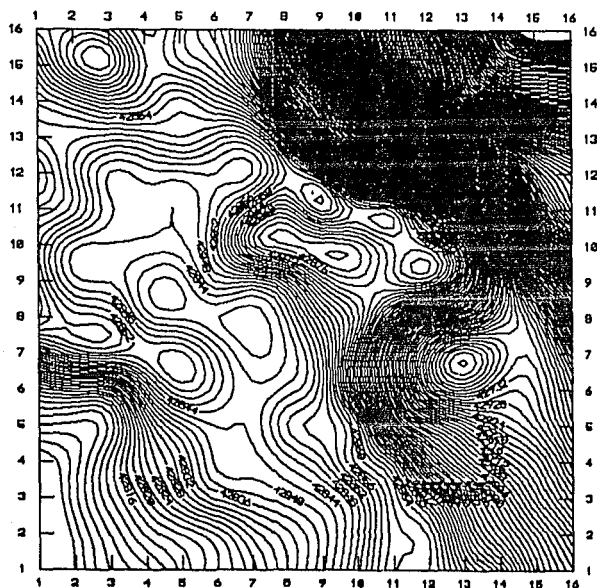


Fig. 24 ANOMALIA MAGNETICA MUESTREADA A 2000 M.

-Redimensión de una Matriz (opción 4). Esta opción, es útil para crear matrices cuadradas y de base 2 a partir de matrices rectangulares. A los nuevos renglones y columnas se les asigna el valor cero.

Para esta opción el programa pregunta: el nombre del archivo a cambiar, una vez identificado el orden de la matriz, se introduce el nuevo orden de la matriz y su nombre, el cuál es grabado con extensión BMY. En la figura 25 se ha graficado la matriz de 64x64 correspondiente a la A. Magnética Total.

Nombre del archivo a cambiar (Sin extensión)? AMAG2 (32X32)

Introduzca la nueva dimensión (REN,COL)? 64,64

Nombre del archivo de salida (Sin extensión) AMRED64

Grabando el archivo AMRED64.BMY

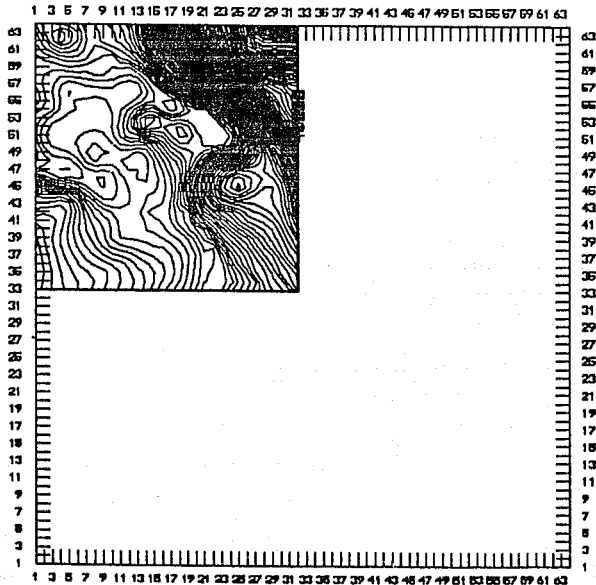


Fig. 25 REDIMENSION DE LA MATRIZ DE LA ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.

-Ventana de una Matriz (opción 5). Cuando el objetivo geológico-geofísico se encuentra en una porción de la matriz original, entonces es necesario tener una ventana de esos datos sin tener que capturarlos nuevamente, en esta opción se obtienen tales ventanas de datos. En la figura 26 se presenta una ventana de la Anomalia Magnética Total.

SELECCION DE VENTANAS DE DATOS

Nombre del archivo a cambiar (Sin extensión)? AMAG2

A partir de que coordenada...(REN,COL)? 16,16

Cuanto más de renglones? 16

Cuanto más de columnas? 16

Nombre del archivo de salida (Sin extensión)? VEN16

Grabando el archivo VEN16.BMY

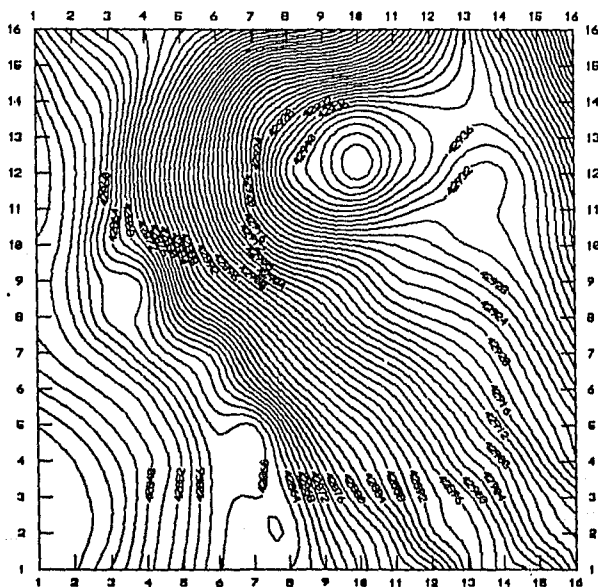


Fig. 26 VENTANA DE DATOS DE LA ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.

-Espectro de Potencia (opción 6). Para esta opción, el programa pregunta el nombre del archivo a transformar, calcula el espectro de potencia y manda a grabar el archivo con extensión FEP. En la figura 27 se presenta el espectro de potencia de la Anomalia Magnética Total.

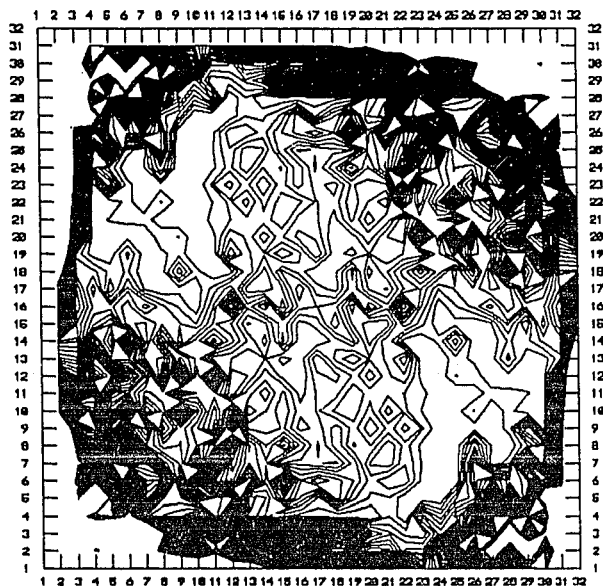


Fig. 27 ESPECTRO DE POTENCIA DE LA ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.

II.3.b.2.c. Captura de Filtros. Los filtros u operadores de interes, en el dominio espacial o frecuencial, son capturados, leídos y modificados en este menú.

<<<<EDICION DE FILTROS>>>>

- 1.-FILTROS EN LA FRECUENCIA.
- 2.-FILTROS EN EL ESPACIO.
- 3.-OPCION PENDIENTE
- 4.-OPCION PENDIENTE.
- 5.-SALIDA AL MENU ANTERIOR.

<<<<CAPTURA DE FILTROS>>>>

- 1.-CREACION DE UN FILTRO
- 2.-LECTURA DE UN FILTRO
- 3.-MODIFICACION DE UN FILTRO.
- 4.-SALIDA AL MENU ANTERIOR

La edición, lectura y modificación de Filtros en el dominio espacial o frecuencial sigue los mismos pasos que para capturar datos bidimensionales, tratada en el editor bidimensional, la diferencia es que los archivos son grabados con la extensión FIL y FL2 respectivamente. En la opción de filtros en la frecuencia (opción 1) se pueden leer aquellos filtros diseñados en la opción F5.

-Filtros en el Espacio. En esta opción, de la literatura (Silva 1977, Ceja 1977, Meskó 1984, se capturaron algunos operadores para efectuar el filtrado espacial, efectuando la convolución entre el operador seleccionado y alguna matriz de datos. Con los operadores capturados se pueden obtener planos de anomalías: regionales, residuales, pasa-banda, segunda derivada, de continuación analítica ascendente y de continuación analítica descendente. A continuación se presenta la impresión de los coeficientes de tres filtros de segunda derivada.

```
+ 2D1.FIL ( 5 x 5 )
      1      2      3      4      5
1  0.000 0.042 0.000 0.042 0.000
2  0.042-0.333-0.750-0.333 0.042
3  0.000-0.750 4.000-0.750 0.000
4  0.042-0.333-0.750-0.333 0.042
5  0.000 0.042 0.000 0.042 0.000

+ 2D4.FIL
0.000 0.000 0.083 0.000 0.000
0.000 0.000-1.333 0.000 0.000
0.083-1.333 5.000-1.333 0.083
0.000 0.000-1.333 0.000 0.000
0.000 0.000 0.083 0.000 0.000

+ 2D5.FIL
0.000-0.083 0.000-0.083 0.000
-0.083-0.067-0.033-0.067-0.083
0.000-0.033 1.067-0.033 0.000
-0.083-0.067-0.033-0.067-0.083
0.000-0.083 0.000-0.083 0.000
```

II.3.b.2.d. Convolución (opción F4). En esta opción se ofrece un menú para efectuar el filtrado espacial .

<<GRAVIMETRIA>>
 CONVOLUCION (Filtrado Espacial)
 1).-REGIONALES
 2).-RESIDUALES
 3).-PASA-BANDA
 4).-SEGUNDA DERIVADA
 5).-CONT. ANAL. ASC.
 6).-CONT. ANAL. DESC.
 7).-SALIR DE LA OPCION

Introduzca el número de la opción deseada.....

Para todas las opciones el programa pregunta: en que drive se encuentran los datos a procesar, posteriormente despliega todos los archivos con extensión BMY y FIL, de los cuales se seleccionarán los de interés, pide el nombre del archivo de salida, presenta las órdenes de las matrices; original, del filtro y de salida, pregunta si se desean observar los resultados numericos y finalmente se manda a grabar el archivo de salida con extensión COF. En las figuras 28 y 29 se presenta la convolución de la matriz de la anomalía magnética con los filtros R1 (regional 1) y 2d1 (segunda derivada 1).

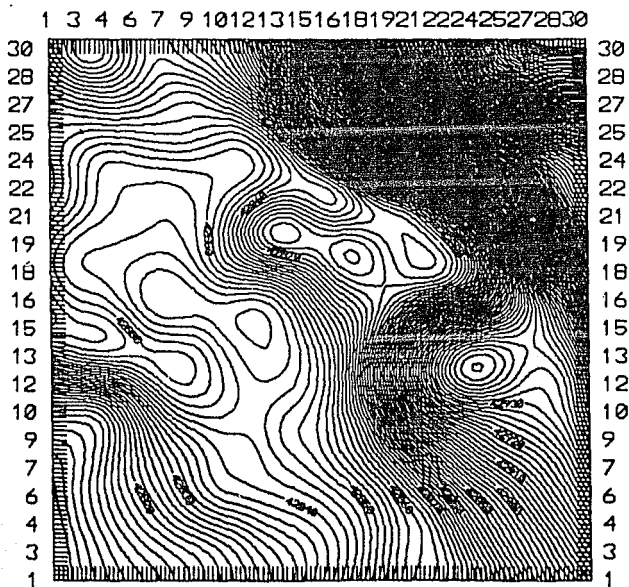


Fig. 28 CONVOLUCION DEL ARCHIVO AMG2.BMY CON EL OPERADOR R1.

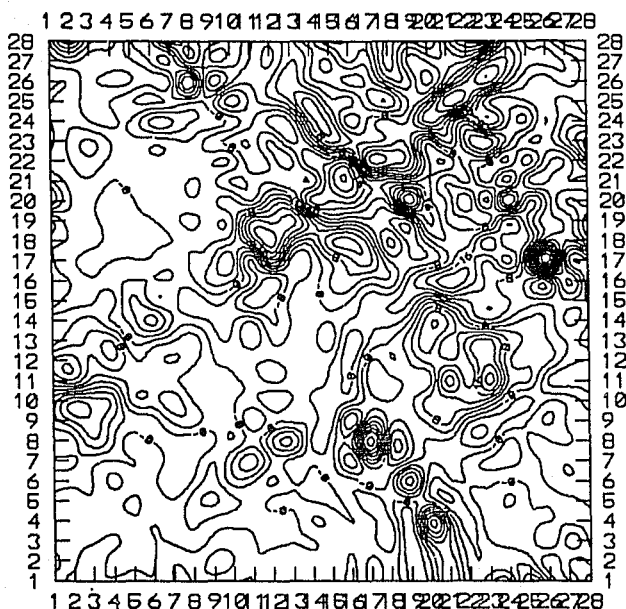


Fig. 29 CONVOLUCION DEL ARCHIVO AMAG2.BMY CON EL OPERADOR 2DI

II.3.b.2.c. Filtrado (opción F5). El menú del filtrado espectral se ha dividido en dos partes; una para Gravimetría y otra para Magnetometría.

<<<< FILTRADO ESPECTRAL>>>>

[F1] GRAVIMETRIA
[F2] MAGNETOMETRIA
[F3] REGRESO AL MENU

Seleccione su opción...

-Gravimetría (opción F1). Aunque se le ha designado como un menú de gravimetría, sin embargo, en éste pueden procesarse también los datos de magnetometría.

<<<< GRAVIMETRIA >>>>
(Filtrado Espectral)

- 1).-Nivelación de Datos
- 2).-Con Filtros Espaciales
- 3).-Con Filtros Frecuenciales
- 4).-Diseño de Regionales (Pasa-baja)
- 5).-Diseño de Residuales (Pasa-alta)
- 6).-Diseño de Pasa-banda
- 7).-Continuación Analítica Ascendente
- 8).-Continuación Analítica Descendente
- 9).-Salir de la opción.

Nivelación de datos (opción 1). En esta opción, es necesario tener un archivo de elevaciones (N.BMY) correspondiente a el área a la cual se va a continuar la anomalía (JAN.BMY), el archivo de salida es grabado con extensión BMY. Para este ejemplo se tomó una porción de la Anomalía de Bouguer cercana a la Cd. de Jalapa Ver.. En la figura 30 se presenta el plano de elevaciones en kilómetros sobre el nivel del mar, en las figuras 31a y 31b se presentan la Anomalía de Bouguer (en U.G.) y el plano continuado de la misma respectivamente.

<<<< NIVELACION DE DATOS >>>>

Nombre del archivo de datos (Sin extensión) JAN
¿Cuál es el intervalo temporal de muestreo? :1
Nombre del archivo de elevaciones (Sin extensión) N
Elevación máxima: 1.96 Elevación mínima: .86
Matriz del plano continuado a zeta= ? 1.96
Nombre del archivo de salida (Sin extensión)? NIV

* Filtrado Espectral con filtros espaciales (opción 2). En esta opción el programa realiza el producto espectral de las T. F. de la matriz de datos (archivo BMY) con la T. F. del operador espacial (archivo FIL), el cual es redimensionado automáticamente a la dimensión de la matriz de entrada. EL archivo de salida es grabado con la extensión MYF. En la figura 32 se presenta la anomalía magnética regional.

<<<< FILTRADO ESPECTRAL >>>>

Nombre del archivo de datos (Sin extensión) AMAG2
Nombre del archivo del operador (Sin extensión) R1
Nombre del archivo de salida (Sin extensión) ESPR1

A. de B.:32x32 Filtrado:32x32 Operador:3x3

Grabando el archivo ESPR1.MYF

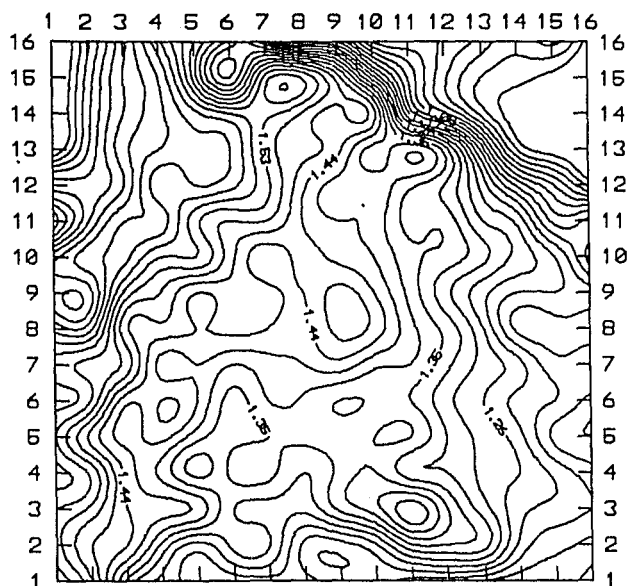


Fig. 30 PLANO DE ELEVACIONES (en kms. s. n. m.).

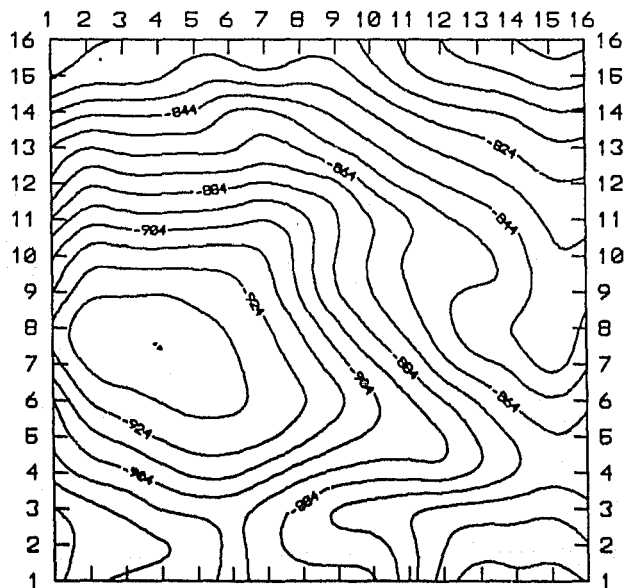


Fig. 31a ANOMALIA DE BOUGUER.

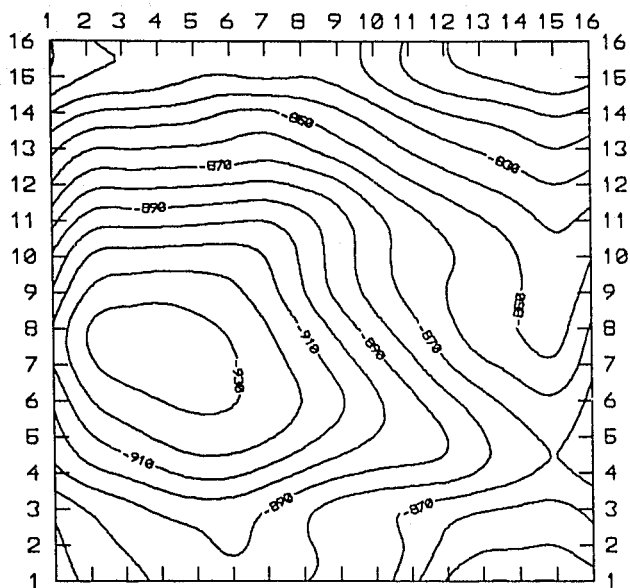


Fig. 31b PLANO CONTINUADO DE LA ANOMALIA DE BOUGUER.



Fig. 32 ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.

Filtrado Espectral con filtros frecuenciales. En esta opción se realiza el producto espectral entre las T. F. de la matriz de datos (extensión BMY) con la T. F. de algún filtro diseñado en el dominio de la frecuencia (extensión FL2). El archivo de salida es grabado con extensión MYF. El filtro utilizado es un filtro de Butterworth Pasa-bajas con una frecuencia de corte de 0.1. En la figura 33 se muestra la Anomalia Magnética Regional.

<<<< FILTRADO ESPECTRAL >>>>

Nombre del archivo de A. B. (Sin extensión) AMAG2

Nombre del archivo del operador (Sin extensión) REG

Nombre del archivo de salida (Sin extensión) ESPFF

Grabando el archivo ESPFF.MYF

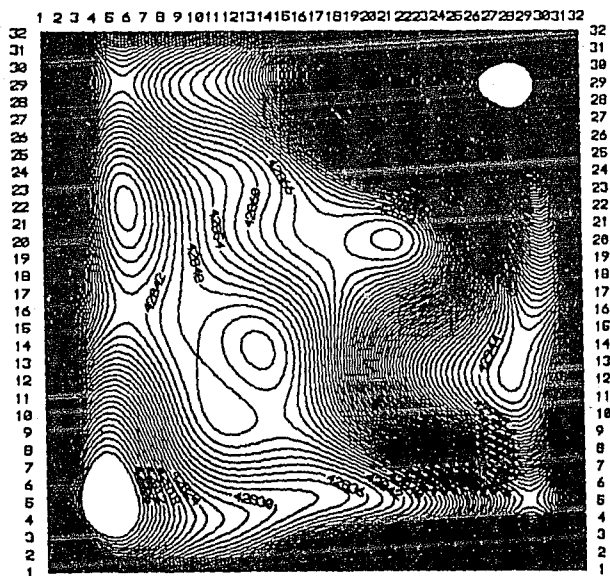


Fig. 33 ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.

*Filtrado Regional (opción 4). En esta opción se realiza: el diseño de filtros pasa-bajas, el producto espectral de la función de transferencia del filtro por la T. F. de la matriz de datos y posteriormente se realiza la T. F. inversa del producto, la cual corresponde a la matriz filtrada. El archivo de salida es grabado con extensión MYF. En las figuras 34a y 34b se presentan la anomalía magnética filtrada y el filtro de Butterworth ($F_c=0.1$). En las figuras 35a y 35b se presenta la anomalía magnética filtrada y el filtro Gaussiano ($K=18$).

```

<<<<< FILTRADO REGIONAL >>>>>
Nombre del archivo de A. B.          (Sin extensión)  AMAG2
¿Frecuencia de corte [0.0-0.5] ?    0.1
¿Exponente de precisión del filtro ideal [min.=1,max=20]?  12
Nombre del archivo de salida          (Sin extensión)  AMRB
A. de B.: 32x32   Filtrado: 32x32   Filtro: 32x32
Grabando el archivo AMRB.MYF
PRESIONA [SPACE] PARA CONTINUAR
¿Desea mandar a grabar el filtro [S/N]?  S
Nombre del archivo de salida          (Sin extensión)  B1
Grabando el archivo B1.FL2
  
```

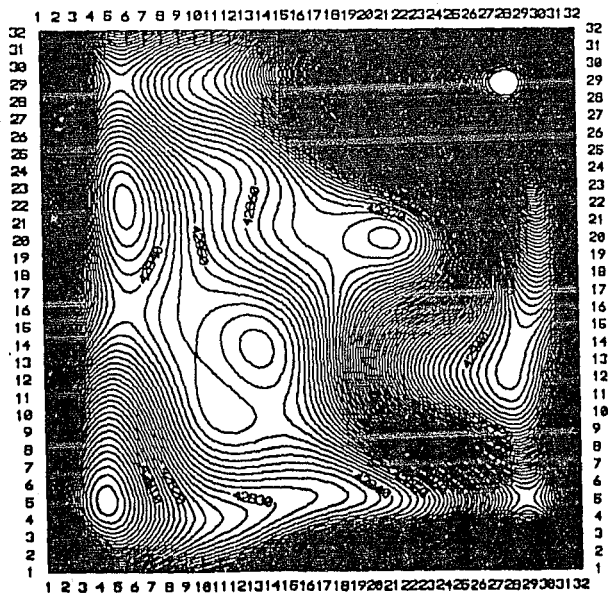


Fig. 34a ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL

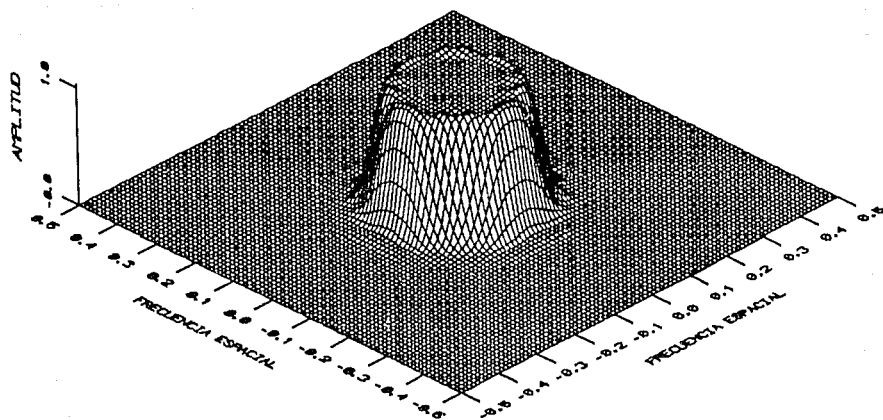


Fig. 34b FILTRO PASA-BAJA DE BUTTERWORTH DISEÑADO ($F_c = 0.1$)

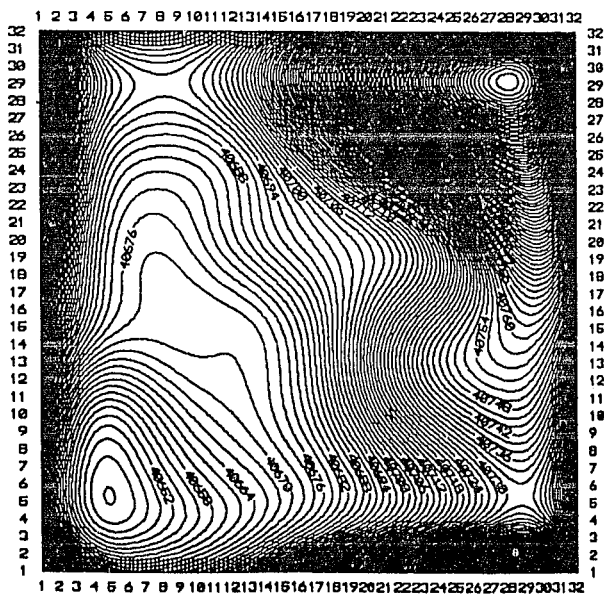


Fig. 35a ANOMALIA MAGNETICA REGIONAL.

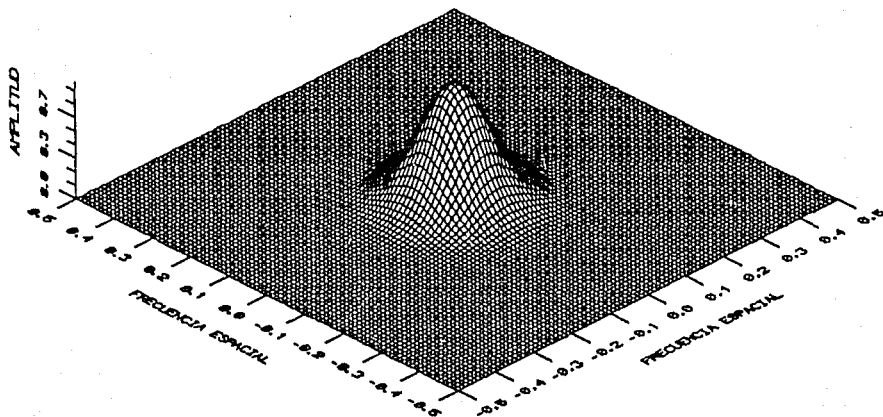


Fig. 35b FILTRO PASA-BAJA GAUSSIANO DISEÑADO ($k = 18$)

***Filtrado Residual (opción 5).** En esta opción se diseñan filtros pasa-altas de Butterworth y Gaussianos. Los archivos, del plano filtrado y del filtro se graban con extensiones MYF y FL2 respectivamente. En las figuras 36a, 36b, 37a y 37b se presentan: la anomalía magnética residual y el filtro diseñado ,

<<<< ANOMALIA RESIDUAL >>>>

¿Nombre del archivo de A. B.....(Sin extensión)? AMAG2
 ¿Frecuencia de corte [0.0-0.5]? 0.25
 ¿Exponente de precisión del filtro ideal [min=1,max=20]? 12
 Nombre del archivo de salida (Sin extensiór.) AMRE

Grabando el archivo AMRE.MYF

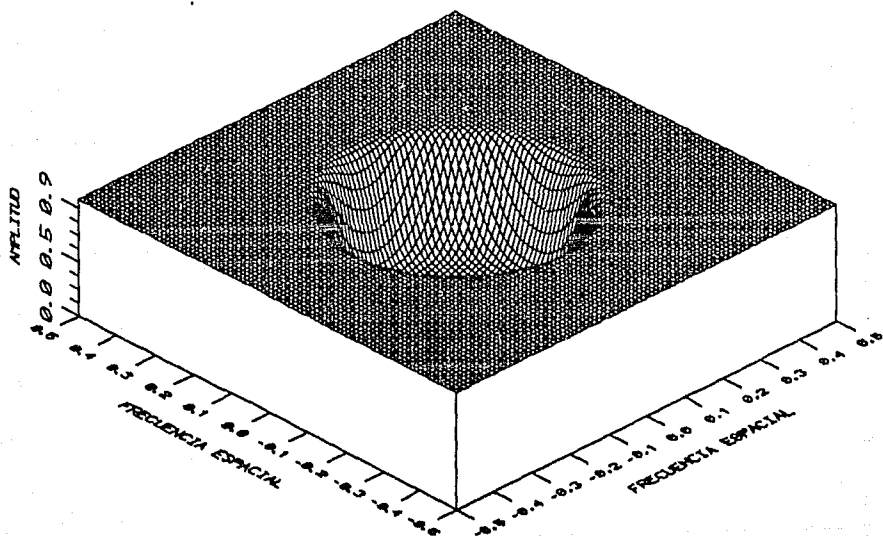
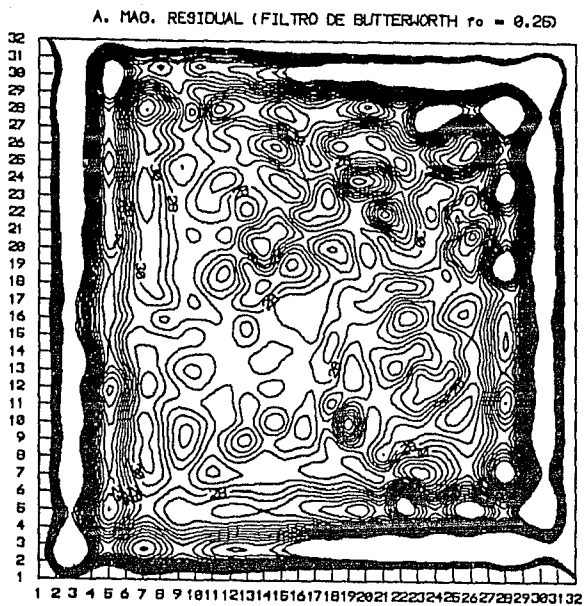
<<<< ANOMALIA RESIDUAL >>>>

¿Nombre del archivo de A. B. (Sin extensión) AMAG2
 ¿Cuál es el valor de k [3-36]? 18

Fc=3.264983 E-02

Nombre del archivo de salida (Sin extensión) AMREG

Grabando el archivo AMREG.MYF



A. MAG. RESIDUAL (FILTRO GAUSSIANO $k = 18$)

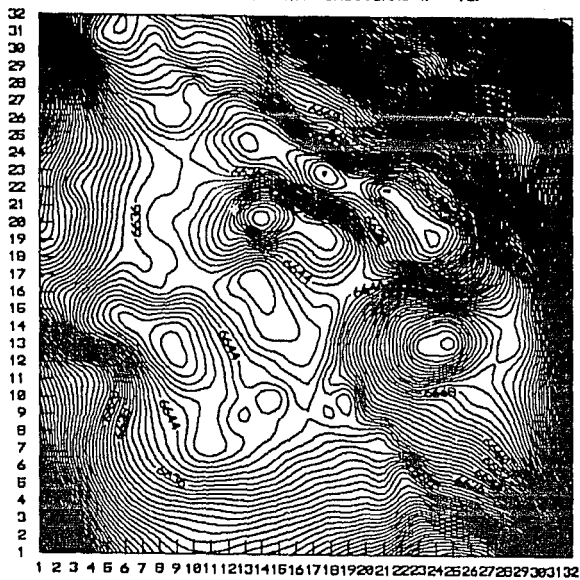
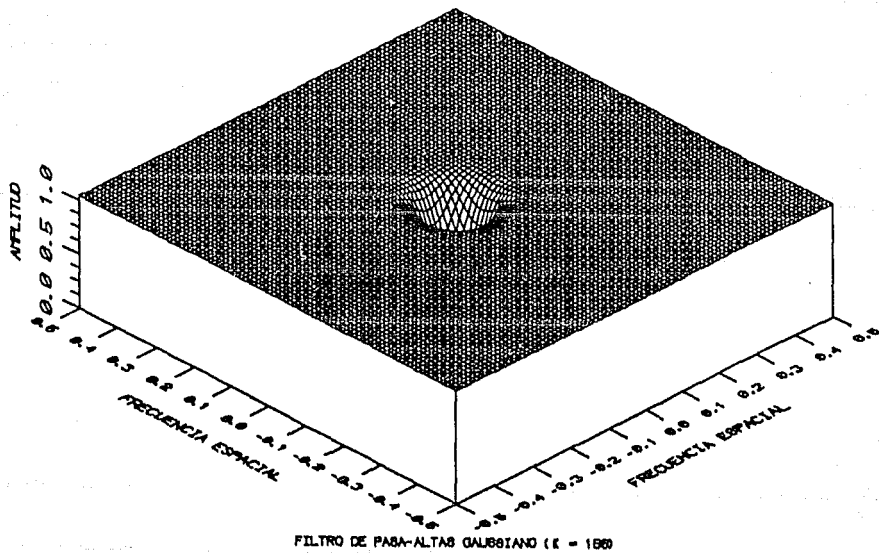


Fig. 37a ANOMALIA MAGNETICA RESIDUAL.



FILTRO DE PASA-ALTAS GAUSSIANO ($k = 18$)

Fig. 37b FILTRO PASA-ALTA GAUSSIANO DISEÑADO ($k=18$).

* Filtrado de Pasa-banda (opción 6). En esta opción se diseñan filtros pasabanda de Butterworth y Gaussianos. En las figuras 38a,38b, 39a y 39b se han graficado la anomalía magnética pasabanda y los filtros diseñados .

```

<<<<< FILTRADO PASA-BANDA >>>>>
¿Nombre del archivo de A.B. (Sin extensión)? AMAG2
¿Frecuencia de corte bajo [0.0-0.5]? 0.1
¿Frecuencia de corte alto [0.0-0.5]? 0.25
Exponente de precisión del filtro ideal [min=1,max=20]? 12
¿Nombre del archivo de salida (Sin extensión)? PBA
Grabando el archivo PBA.MYF
¿Desea mandar a grabar el filtro diseñado [S/N]? S
Nombre del archivo de salida (Sin extensión) ? PB1

<<<<< FILTRO PASA-BANDA >>>>>
Nombre del archivo de A.B. (Sin extensión)? AMAG2
¿Cuál es el valor de k1 [3-36]? 8 Fh=7.346213E-02
¿Cuál es el valor de k2 [3-36]? 20 Fh=2.93845E-02
¿Nombre del archivo de salida (Sin extensión) ? PBA1
Grabando el archivo PBA1.MYF

```

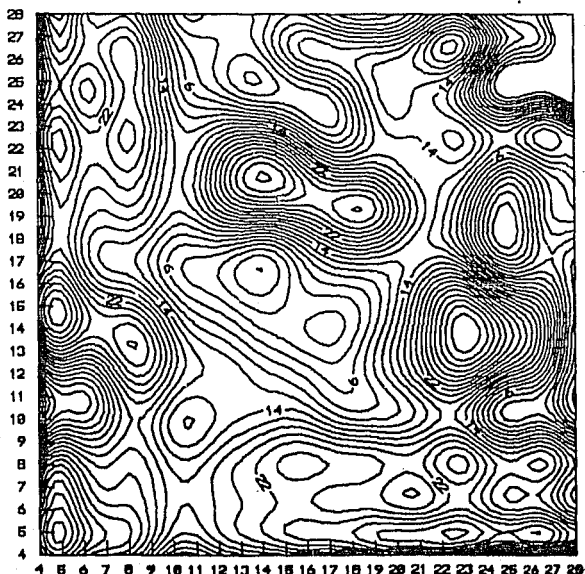


Fig. 38a ANOMALIA MAGNETICA PASA-BANDA.

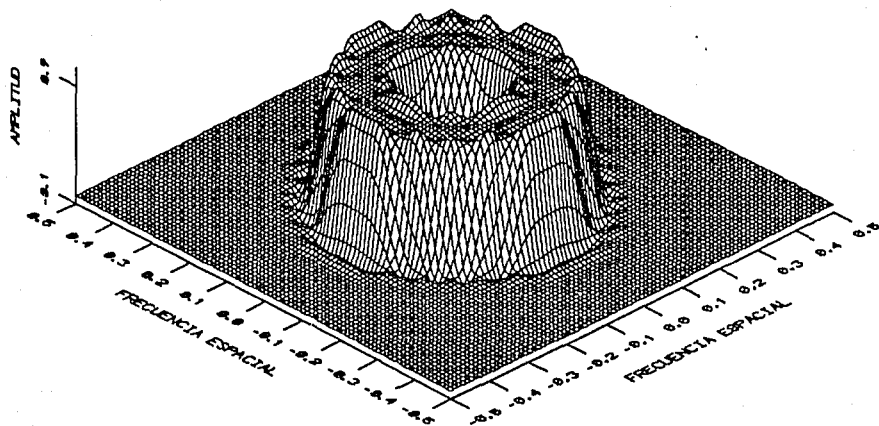


Fig. 38b FILTRO PASA-BANDA DE BUTTERWORTH $F_c=[0.1,0.25]$.

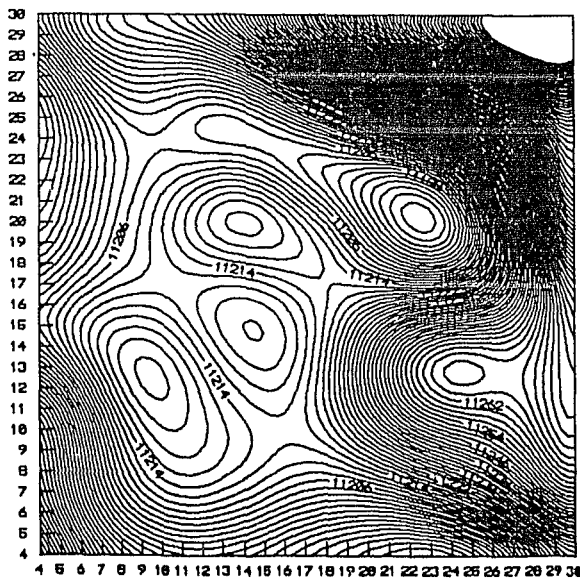


Fig. 39a ANOMALIA MAGNETICA PASA-BANDA $k=[8-20]$.

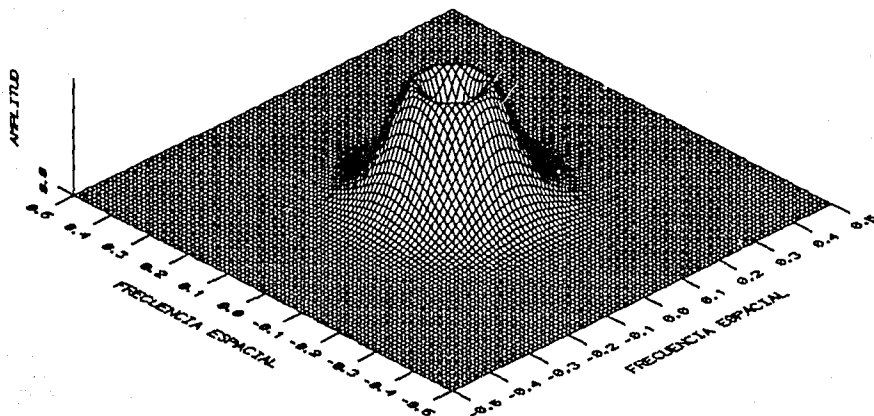


Fig. 39b FILTRO PASA-BANDA GAUSSIANO $k=[8,20]$

* Continuation Analítica Ascendente/Descendente (opción 7). Con esta opción se obtiene la continuación analítica de datos potenciales, la h de continuación debe darse en Kilómetros. En las figuras 40, 41, 42 y 43 se han graficado la continuación analítica de la Anomalía Magnética y los filtros aplicados.

<<<< CONTINUACION ANALITICA >>>>

Nombre del archivo de A.B. (Sin extensión) ? AMAG2
 ¿Continuación Ascendente ó Descendente [A/D] ? A
 ¿A que 'h' requieres la continuación? 2
 Nombre del archivo de salida (Sin extensión)? CA

Grabando el archivo CA.MYF

<<< CONTINUACION ANALITICA >>>>

Nombre del archivo de A. B. (Sin extensión) AMAG2
 ¿Continuación Ascendente ó Descendente [A/D]? D
 ¿A que 'h' requieres la continuación? 3
 Nombre del archivo de salida (Sin extensión) CD
 Grabando el archivo CD.MYF
 ¿Desca mandar a grabar el filtro[SIN] S
 Nombre del archivo de salida (Sin extensión) CD

Grabando el archivo CD.FL2

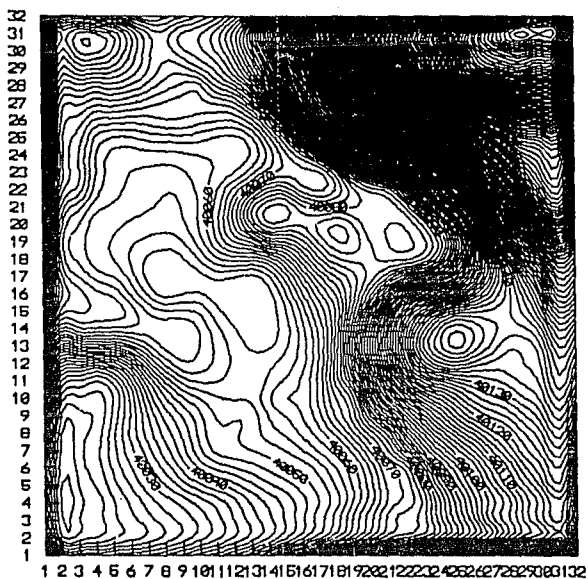


Fig. 40 CONTINUACION DE LA ANOM. MAGNETICA A 5000 m.s.n.m.

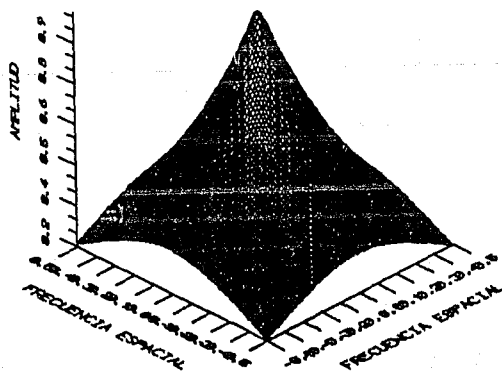


Fig 41 FILTRO DE CONTINUACION ANALITICA ASCENDENTE.

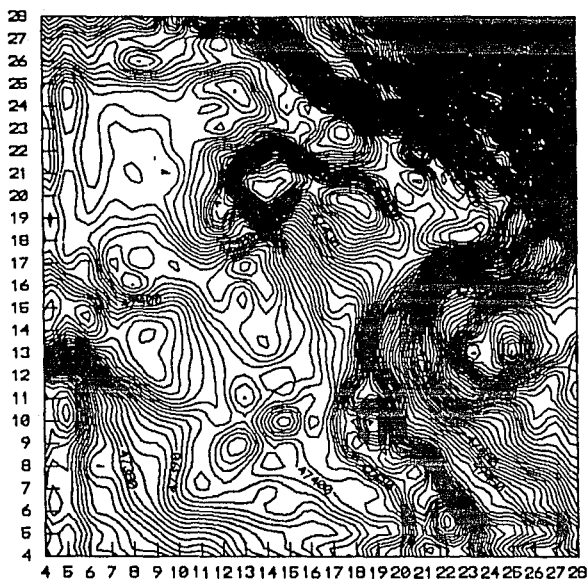


Fig. 42 ANOMALIA MAG. CONTINUADA A -3000 BAJO LA ALTURA DE VUELO.

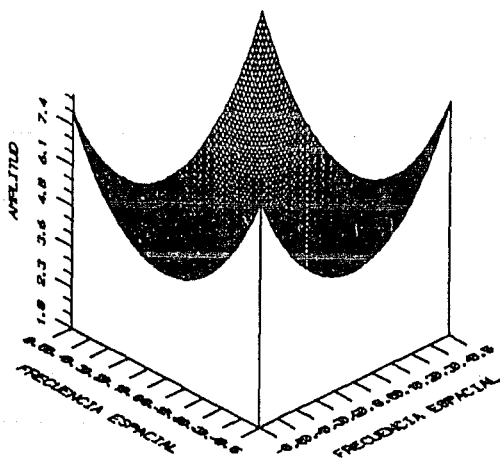


Fig. 43 FILTRO DE CONTINUACION ANALITICA DESCENDENTE.

*DERIVADAS (opción 8). En esta opción, se calculan derivadas del campo potencial.

<<<<< DERIVADAS.>>>>>

Nombre del archivo de A. B. (Sin extensión) AMAG2

¿De que orden deseas tu derivada? 2

Nombre del archivo de salida (Sin extensión) DER

A. B.: 32x32 Filtrado: 32x32 Filtro: 32x32

Grabando el archivo DER.MYF

¿Desea mandar a grabar el filtro[S/N]? S

Nombre del archivo de salida (Sin extensión) 2DVA

Grabando el archivo 2DVA.FL2

En las figuras 44 y 45 se presenta segunda derivada vertical y el filtro respectivo.

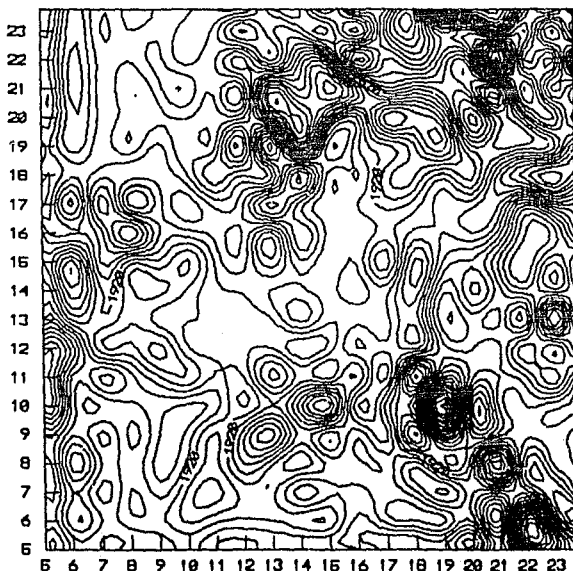


Fig. 44 SEGUNDA DERIVADA VERTICAL ASC. DE LA ANOM. MAG. TOTAL.

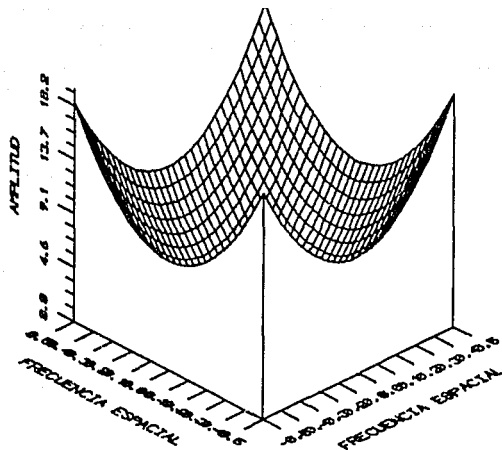


Fig. 45 FILTRO DE SEGUNDA DERIVADA VERTICAL.

-Magnetometría (opción F2). Esta opción, contempla un submenú de transformación de datos potenciales y se deja abierta la posibilidad de ampliarse con tres opciones más. El submenú de transformaciones lo ha tratado ampliamente Correa (1990, de ese trabajo se tomó el algoritmo correspondiente.

<<<< MAGNETOMETRIA >>>>
(FILTRADO ESPECTRAL)

- 1.- TRANSFORMACIONES.
- 2.- OPCION PENDIENTE.
- 3.- OPCION PENDIENTE.
- 4.- OPCION PENDIENTE.
- 5.- SALIR DE LA OPCION.

¿Cuál opción?

<<<< TRANSFORMACIONES >>>>>>
A).-REDUCCION AL POLO.
B).-OPCION PENDIENTE.
C).-OPCION PENDIENTE.
D).-OPCION PENDIENTE.
E).-OPCION PENDIENTE.
F).-SALIR DE OPCION.

* Reducción al Polo (opción A). Para esta opción, el programa requiere el archivo de datos (AMAG2.BMY), además la inclinación y declinación magnética de la componente medida y del vector de polarización. El archivo de salida, es grabado con con extensión MYF. En la figura 46 se presenta la anomalía magnética reducida al polo.

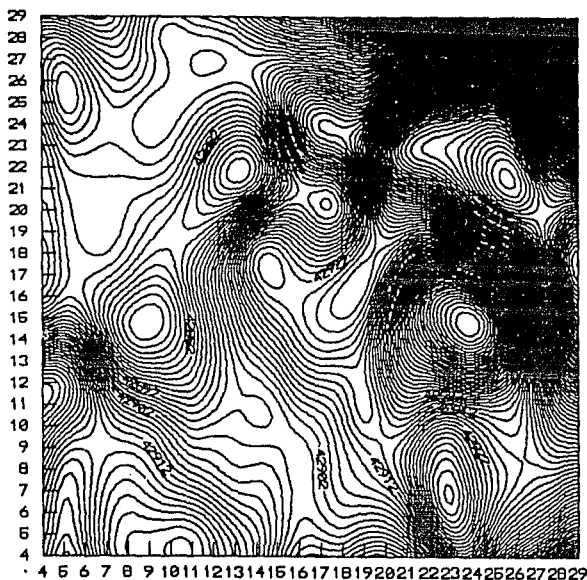


Fig. 46 ANOM. MAG. REDUCIDA AL POLO (INCL. 47.8° , DECL. 6.5°).

II.3.c. Menú de Graficación e Impresión.- Contempla la graficación de datos unidimensionales y bidimensionales, así como la impresión de las matrices de datos bidimensionales.

[F3]
MENU DE GRAFICACION

[F1] GRAFICACION DE DATOS UNIDIMENSIONALES.
[F2] GRAFICACION DE DATOS BIDIMENSIONALES.
[F3] SALIDA A MENU PRINCIPAL.

¿CUAL OPCION?

II.3.c.1 Para la graficación de datos unidimensionales (opción F1), es utilizado un programa que desarrolló el Instituto de Ingeniería en 1987 (versión 1.6).

SISTEMA DE GRAFICACION PARA PC.

Desarrollado por el equipo de Hidromecánica versión logarítmica
con colaboración de Mecánica Aplicada.

Este sistema funciona para la siguiente configuración:

- Microcomputadora PC compatible.
- Graficador capaz de interpretar comandos en HP-GL.
Instituto de Ingeniería
México, D.F., 1987. Versión 1.6
Presione cualquier tecla para iniciar

OPCIONES DEL GRAFICADOR

- 1.- Valores límites de la gráfica.
- 2.- Cotas relativas de la gráfica.
- 3.- Posición de la gráfica en el papel.
- 4.- Títulos para los ejes.
- 5.- Título de la gráfica.
- 6.- Cambiar el archivo de datos.
- 7.- Divisiones en los ejes.
- 8.- Líneas horizontales y verticales.
- 9.- Número de decimales x,y .
- 10.- Selección de la gráfica.
- 11.- NO/SI Trazar recuadro y ejes.
- 12.- Número de gráficas en PARALELO.
- 13.- GRAFICAR en pantalla.
- 14.- GRAFICAR en papel
- 15.- Traza solamente los ejes en PAPEL.
- 16.- Traza solamente los ejes en PANTALLA.
- 17.- Despliega un archivo en pantalla.
- 18.- Graficar puntos discretos.
- 19.- Graficar puntos continuos.
- 20.- Graficar escala logarítmica.

selección : (0 termina la sesión)

Las figuras 7 a la 19 fueron realizadas con este sistema de graficación .

II.3.c.2 Graficación de datos Bidimensionales. Para esta opción, el programa pregunta en que drive están los datos a graficar, después se despliegan algunas de las extensiones más utilizadas en el paquete de proceso, de las cuales se seleccionará una, tecleandola o bien con las teclas de funciones, al presionar <enter>, se despliega el menú de graficación .

en que drive están tus datos ?

BMV,FPR,FPI,FAM,FFA,FMY,FCI,COF,MYF,FIL,FL2

Que extensión de directorio requiere?

<<<< MENU DE GRAFICACION BIDIMENSIONAL >>>>

- 1).-GRAFICACION (CONTORNOS Y PERFILES)
- 2).-IMPRIMIR ARCHIVOS.
- 3).-GRAFICACION CON SURFER (Conversión).
- 4).-GRAFICACION CON SURFER (Directo).
- 5).- CONV. DE *.GRD (SURFER) A *.FIL
- 6).- SALIR DEL MENU.

Cuál opción?

* Graficación de contornos y perfiles (opción 1)

<<<<< GRAFICACION BIDIMENSIONAL >>>>

- 1).- CONTORNOS.
- 2).- PERFILES.
- 3).- SALIR DE MENU

Cuál opción?

Para la graficación de contornos se utiliza un sistema de graficación que se desarrolló en el Dpto. de Explor. de Recursos Energ. del Subsuelo(DEPFI) .El programa pide el nombre del archivo a graficar, identifica el orden de la matriz, lee y despliega los valores máximo mínimo, pregunta de que curva se desea graficar y con que incremento, a cada cuantas celdas se dibujará el nivel de la curva, si se desea dibujar la rejilla auxiliar y el titulo de la gráfica . En la figura 47 se ha graficado la Anomalia Magnética Total.

Nombre del archivo a graficar (CON extensión)? AMAG2.BMV

nr=32 nc=32 min=42000 max=43177.5

desde la curva,incremento? 42000.10

cada cuantas celdas se dibujará el nivel de la curva?: 10

desea que se dibuje la rejilla auxiliar (1=si, 0=no)? 0

titulo de la gráfica (MAXIMO 50 CARACTERES) : ANOMALIA MAGNETICA TOTAL

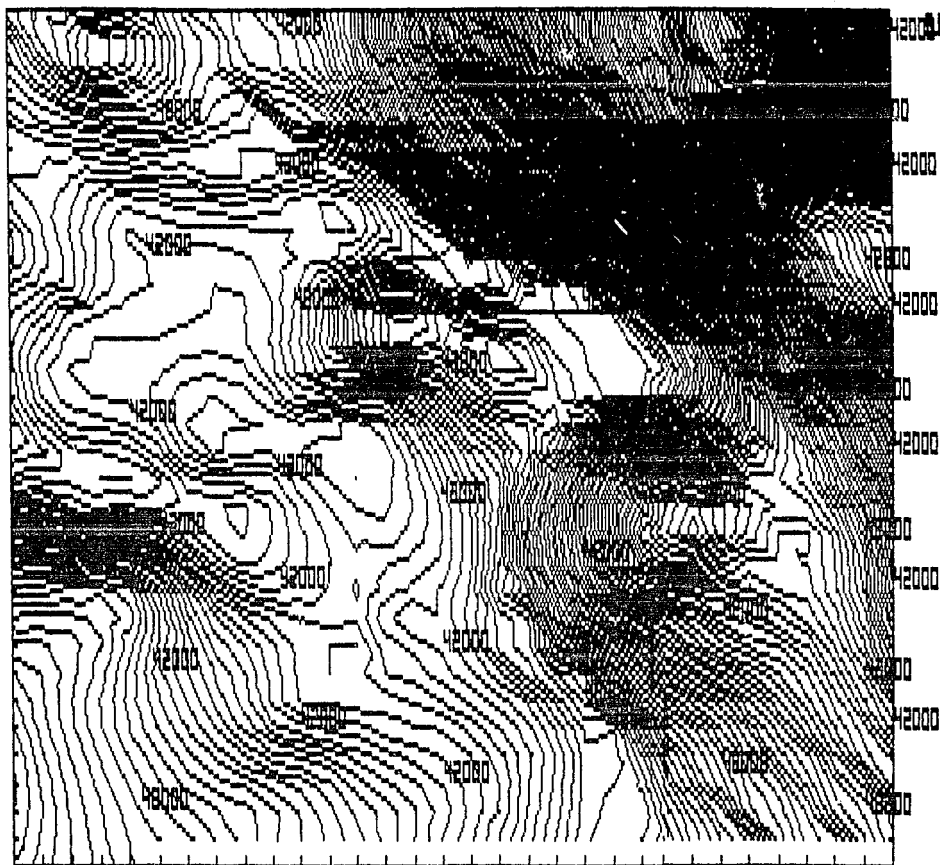


Fig. 47 ANOMALIA MAGNETICA TOTAL.

* Graficación de Perfiles (opción 2). En esta opción, de una matriz bidimensional, se pueden obtener perfiles por renglón o por columna, los cuales, si se desea se mandan a grabar para posteriormente ser graficados. En el siguiente ejemplo, se obtiene el perfil (renglón 13 del archivo de la Anomalia Gravimétrica del área de estudio [JACA.BMY]).

¿Nombre del archivo a graficar (CON EXTENSION)? JACA.BMY

nr=26, nc=63

(1) POR RENGLO (2) POR COLUMNA: 1

¿DE QUE RENGLO? (0 a 25) 13

Título de la gráfica (máximo cien caracteres): PERFIL GRAVIMETRICO

(1) Escala en función de los datos de toda la malla.

(2) Escala en función de los datos leídos únicamente

¿Que escala necesitas? 2

¿Incremento en la escala z del eje de la función? 100

¿Desca mandar a grabar estos datos [S/N]? S

¿Nombre del archivo de salida sin extensión (tres letras)? PER13

¿Desca cambiar las coordenadas[S/N]? N

* Impresión de Archivos (opción 2). Hasta tres archivos bidimensionales pueden imprimirse en esta opción. Se presenta la impresión de los valores de tres operadores de segunda derivada.

Nombre del primer archivo (CON EXTENSION) 2D1.FIL

Nombre del segundo archivo (CON EXTENSION) 2D2.FIL

Nombre del tercer archivo (CON EXTENSION) 2D3.FIL

¿En impresora [S/N]? S

¿Modo compacto [C] ó Modo Expandido [E]? C

Formato:####

¿Desca cambiar el formato de impresión [S/N]? S

¿Número de dígitos enteros? 1

¿Número de dígitos decimales? 4

PRESIONA <SPACE> PARA CONTINUAR

+ 2D1.FIL (5 x 5)

	1	2	3	4	5
1	0.0000	0.0416	0.0000	0.0416	0.0000
2	0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	0.0416
3	0.0000	-0.7500	4.0000	-0.7500	0.0000
4	0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	0.0416
5	0.0000	0.0416	0.0000	0.0416	0.0000

+ 2D2.FIL

0.0000	-0.0200	-0.0100	0.0200	-0.0100
-0.0200	0.0600	0.0700	0.0400	0.0700
-0.0100	0.0700	-0.4600	-0.9600	-0.4600
0.0200	0.0400	-0.9600	4.8800	-0.9600
-0.0100	0.0700	-0.4600	-0.9600	-0.4600

+ 2D3.FIL

0.0000	0.0000	0.0000	-0.0100	0.0000
0.0000	-0.0200	-0.0200	-0.0300	-0.0200
0.0000	-0.0200	-0.1100	-0.2100	-0.1100
-0.0100	-0.0300	-0.2100	1.6800	-0.2100
0.0000	-0.0200	-0.1100	-0.2100	-0.1100

* Graficación con Surfer (opción 3). Para la graficación de los datos bidimensionales capturados o procesados, es utilizado el paquete SURFER de GOLDEN SOFTWARE INC. (1987), para ello, son adecuados los datos a los requerimientos de SURFER. Cuando se selecciona esta opción, el programa pregunta el nombre del archivo a cargar, nombre del archivo de salida, lee el orden de la matriz, pregunta si se desean cambiar las coordenadas de la matriz, si es afirmativo, se preguntan la nuevas coordenadas máxima y mínima, se graban los archivos DAT y GRD y se accesa directamente a SURFER (opciones: Grid, Topo ó. Surfer).

¿Nombre del archivo a cargar (CON EXTENSION)? TES.FL2

¿Nombre del archivo de salida (SIN EXTENSION)? TES

PRESIONA SPACE PARA CONTINUAR

Procesando, espere un momento...

Tu malla es de 32x32

¿Desca cambiar sus coordenadas [S/N]? S

¿Introduzca la coordenada x mínima -5

¿Introduzca la coordenada x máxima? 5

¿Introduzca la coordenada y mínima? -5

¿Introduzca la coordenada y máxima? 5

Grabando...TES.DAT

Grabando...TES.GRD

¿Grid, Topo o Surf [G,T,S]? T

*Graficación con Surfer (opción 4). Cuando se selecciona esta opción, el programa: pregunta en que drive estan los archivos a graficar, despliega todos los archivos con extensión GRD, seleccionado el archivo de interés, se presentan las opciones de SURFER. Todas las figuras bidimensionales de este trabajo fueron preparadas con SURFER y su graficación se realizó en impresora o bien con el Plotter HP Draft Master RXplus.

* Conversión de Archivos *.GRD (surfer) a *.FIL. Los datos digitizados (extensión DAT) pueden convertirse con surfer a extensión GRD y éstos a extensión FIL, o bien si se desea se pueden renombrar a extensión BMY. Un ejemplo de esto fué la generación de las matrices de la Anomalia Magnética Total, cuyos datos se digitizaron en el Instituto Mexicano del Petróleo .

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CAPITULO III
APLICACION DEL SISTEMA DE PROCESO
"INTERPRETACION GEOFISICO-GEOLOGICA DE LA PORCION NORTE
DE LA CUENCA DE VERACRUZ."

III.1 OBJETIVOS :

- Establecer una metodología de análisis espectral de datos potenciales.
- Delimitar la prolongación del Frente Tectónico de la Plataforma de Córdoba.
- Seleccionar áreas de interés económico-petrolero en la región de estudio.

III.2. UBICACION DEL AREA

El área de estudio se encuentra ubicada en la porción central de Veracruz (figura 48), constituye una superficie rectangular de aproximadamente 1600 km² y queda comprendida entre las coordenadas geográficas 19°22' y 19°36' de Latitud Norte y 96°25' y 97°00' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y contiene parte de las siguientes hojas INEGI:

CLAVE	NOMBRE
E-14-B-27	JALAPA
E-14-B-37	COATEPEC
F-14-D-71	ACTOPAN
E-14-B-38	CARDEL.

Asimismo, en ella convergen las Provincias Geológicas del Papaloapan y del Eje Neovolcánico .

III.3 GEOLOGIA

III.3.a Geología Superficial. Las rocas aflorantes son: sedimentarias marinas, sedimentarias continentales y volcánicas extrusivas que cronológicamente abarcan un intervalo que va desde el Cretácico Medio hasta el Reciente.

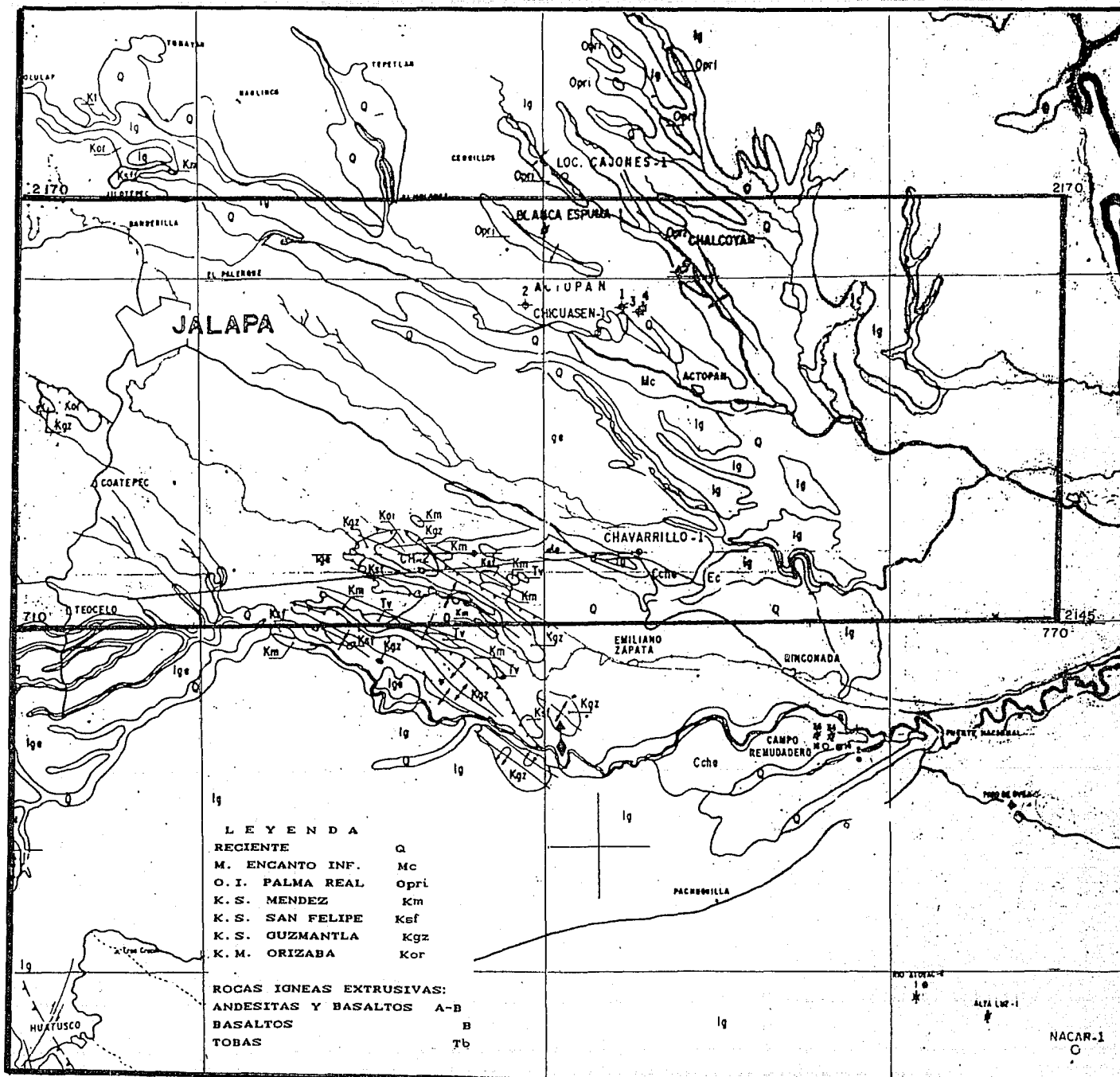
En las figuras 49 y 50 se presenta el plano Geológico a escalas de 1:250,000 y 1:100,000.

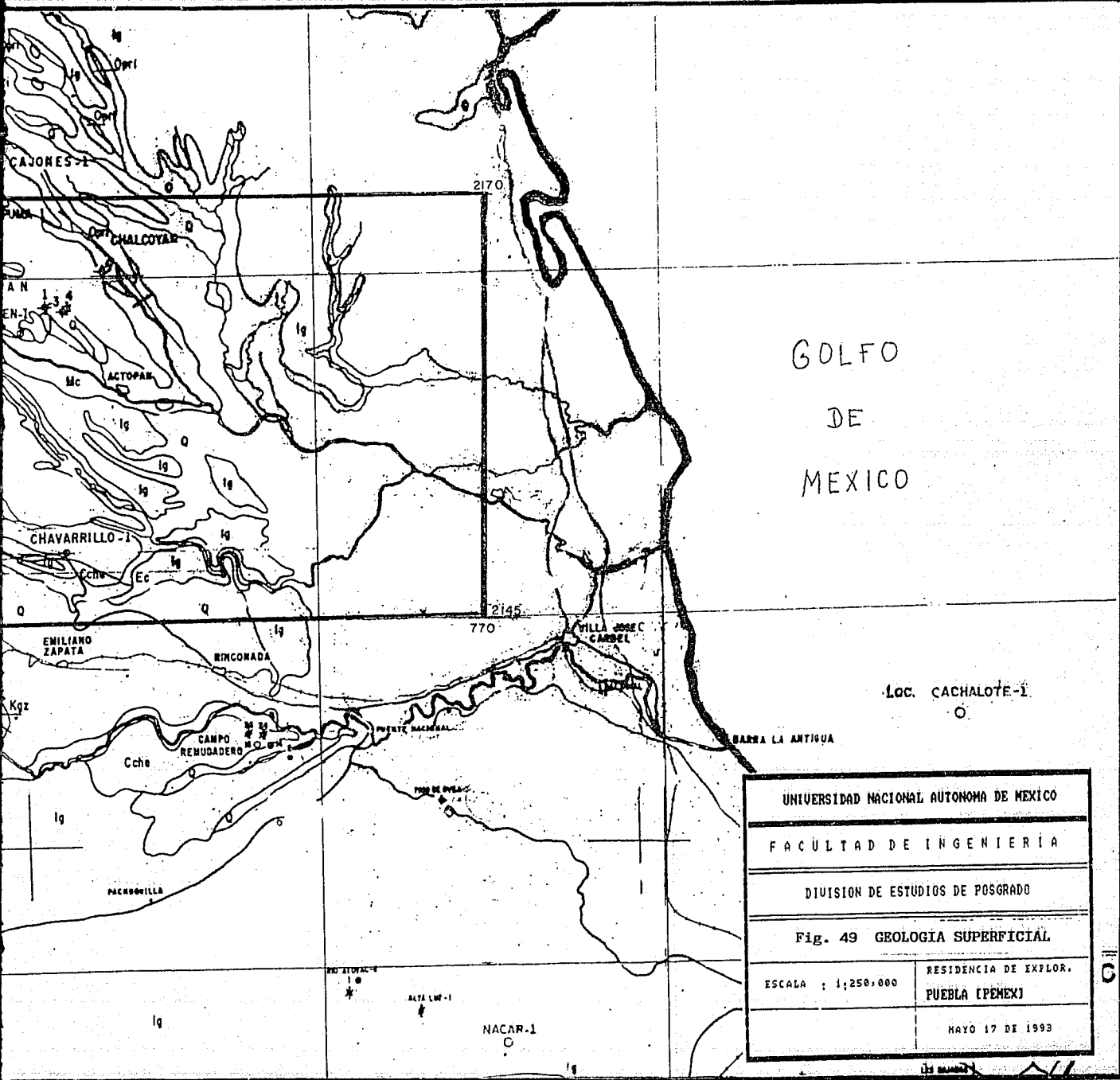
-Rocas Sedimentarias. En el área afloran las formaciones: Orizaba del Cretácico Medio, Guzmantla, San Felipe y Mendez del Cretácico Superior; Velasco, Chicontepec y Palma Real Inferior del Terciario y Caliche y Aluvión del Reciente.

-Rocas Igneas .

--Extrusivas.

El área está cubierta en un 70% de éste tipo de rocas, que consisten de: Andesitas, Basaltos, Andesitas-Basaltos y Tobas. Su fuente de origen posiblemente lo constituye el estratovolcán del Cofre de Perote.





GOLFO
DE
MEXICO

Loc. CACHALOTE-1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

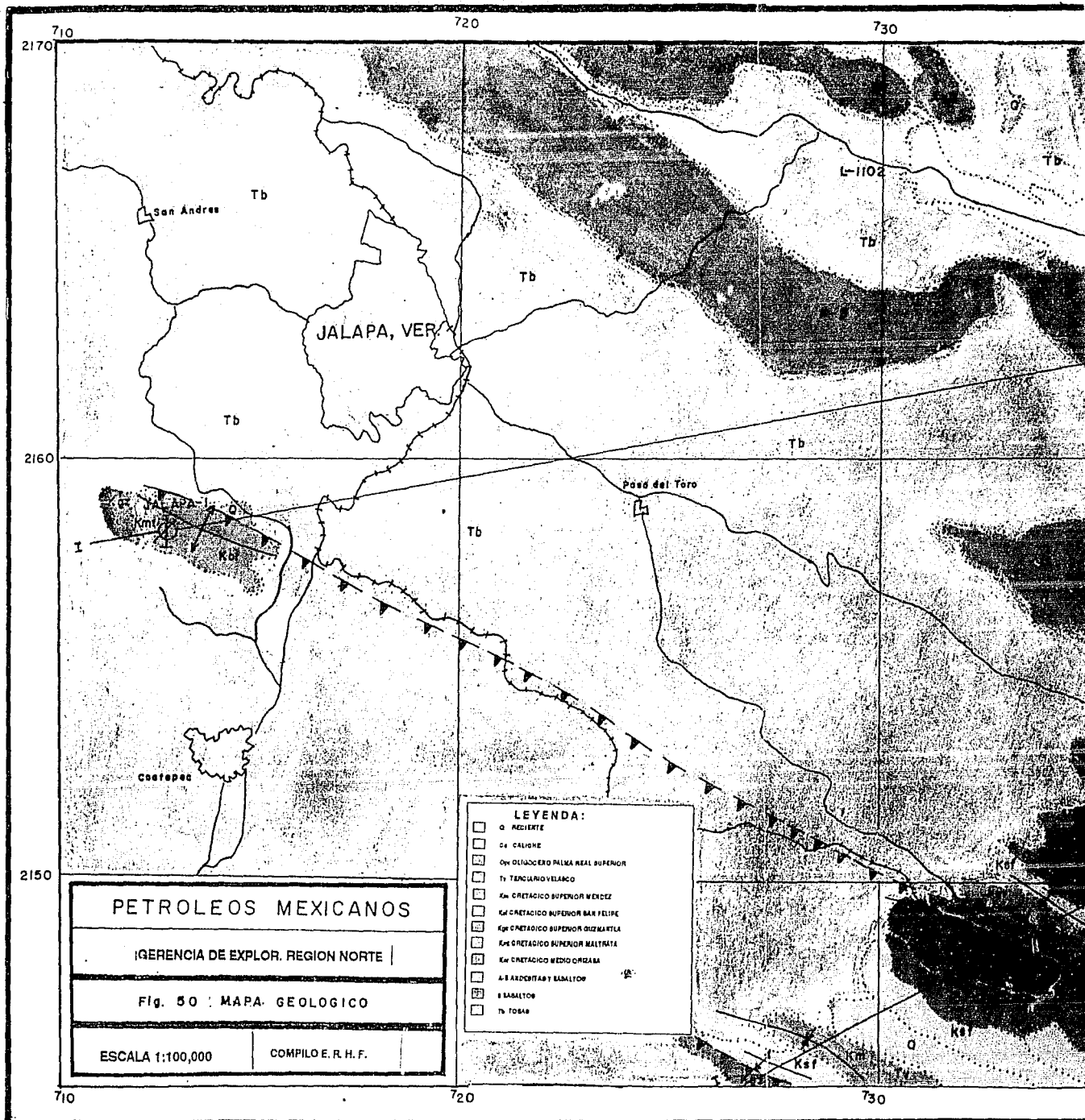
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

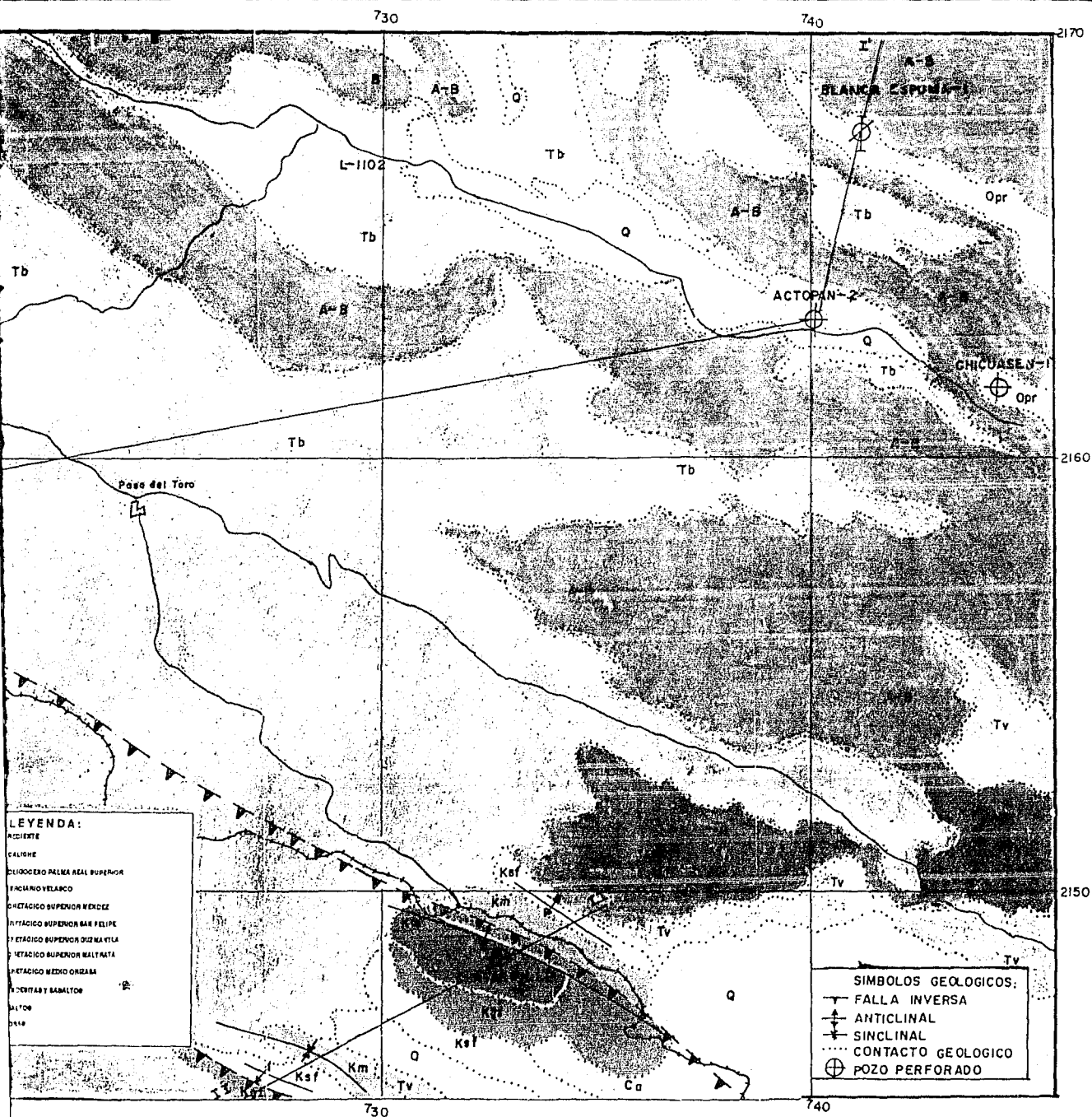
Fig. 49 GEOLOGIA SUPERFICIAL

ESCALA : 1:250,000

RESIDENCIA DE EXPLOR.
PUEBLA (PEH)

MAYO 17 DE 1993





-Intrusivas

Al occidente del área de estudio Yañez et al. (1982) reportan afloramientos de graneodoritas, granitos y sienitas con estructuras de tronco y diques. La datación radiométrica por el método K-Ar de las muestras de estas rocas, dió edades de $14, 14.5 \pm 7$ y 31 ± 3.7 m.a., las dos primeras corresponden al Mioceno Medio y la tercera al Oligoceno Medio.

III.3.b. Geología del Subsuelo.

Las chapopoterías vivas en el curso del río chapopote, estudios de Geología Superficial y de Gravimetría dieron la pauta para la perforación de los pozos exploratorios: Actopan-1 (1952), Chavarrillo-1 (1956), Chalcocoyan-2 (1957), Chicuasén-1 (1957), Actopan-2 (1960), Blanca Espuma-1 (1962), Chavarrillo-2 (1964), Jalapa-1 (1970), Actopan-3 (1971) y Actopan-4 (1972).

En la figura 51a se presenta a manera de tabla y en forma condensada la información referente a los pozos mencionados, tal como: nombre del pozo, columna geológica, cimas de las formaciones en metros bajo la mesa rotaria (M.B.M.R.), profundidad total, resultado, manifestaciones de hidrocarburos y observaciones.

Durante la perforación se encontraron intervalos de rocas del Terciario y del Mesozoico con manifestación e impregnación de aceite, desafortunadamente los resultados de los registros eléctricos, de las pruebas de formación y de producción indican que los pozos se encuentran: secos, invadidos de agua dulce de baja salinidad, invadidos de agua ligeramente sulfurosa o bien invadidos de agua salada. Además, se reportan en 7 pozos la presencia de cuerpos ígneos intrusivos del tipo Hipabisal (sills y diques) intrusionando la columna sedimentaria con espesores desde 2 hasta 50 metros, lo cual es una evidencia de la intensa actividad magmática desde el Terciario hasta el Cuaternario a la que ha estado sometida el área de estudio.

III.3.c. Estratigrafía.

-PALEOZOICO:

Basamento. El basamento sobre el cual descansan las rocas del área de estudio, está constituido por rocas ígneas de composición granítica, cortadas a 3677 M.B.M.R., en el pozo Actopan-4. Consiste de un granito de biotita, cuyo análisis radiométrico por el método de K-Ar permite asignarle una edad de 323 ± 8 m.a. que corresponde al Carbonífero Temprano.

-JURASICO:

***Medio:**

Formación Cahuasas (Bathoniano-Bajociano).

En el pozo Actopan-4, las rocas de ésta Formación consisten principalmente de una arcosa gris claro, cementada en material blanco, desleznable y piritizada.

En el pozo Jalapa-1 consiste de una secuencia de arenas y areniscas de color gris blanquisco, café rojizo a gris verdoso de grano medio a grueso, de cuarzo blanco, verde y anaranjado, se observa calcita secundaria blanca, estratificación cruzada y fragmentos de granito.

***Superior:**

Formación San Pedro (Kimmeridgiano).- En el pozo Jalapa-1 está constuida por: calizas dolomíticas de color café claro que gradúan a calizas pseudoolíticas café claro parcialmente dolomitizadas, dolomia café claro a gris con abundantes granos de cuarzo, arenisca gris claro de grano fino. En el pozo Actopan-4 ésta Formación está constituida por dolomia café claro a gris claro, con granos de cuarzo y arenisca gris claro de grano fino ligeramente calcárea.

Formación Pimienta (Tithoniano).-De la correlación del los registros eléctricos de los pozos Jalapa-1, Muro-2, Muro Sur-1 y Cazones-2 (los tres últimos fuera del área de estudio), sw interpretó la posible existencia de calizas arcillosas.

-CRETACICO:

***Inferior (Berriasiano).**

Sin nombre Formacional.- En el pozo Jalapa-1 se cortaron calizas dolomíticas café claro microcristalina, compactas, de aspecto sacaroide, con fracturas selladas por anhídrita y calizas microcristalinas de color café claro, parcialmente fracturadas con nódulos de anhídrita blanca. En el pozo Actopan-1 se identificaron calizas gris claro con escasos miliolidos.

***Medio.**

Formación Orizaba o Abra (Albiano-Cenomaniano).- En el pozo Actopan-3, de la cima hacia su base, está constituida por una alternancia de Mudstone crema blanquisco, Grainstone crema y Packestone gris crema, que gradúan a Wackestone gris crema microcristalino con miliolidos, parcialmente dolomitizado. Hacia su base el Wackestone gradúa a dolomita café de aspecto sacaroide. Las rocas del todo el intervalo (141m) cortad, presentaron manchas e impregnación de aceite café oscuro viscoso. Al sur del área de estudio, las rocas de ésta Formación son almacenadoras de aceite y gas en los campos Mata Pionche, Mecayuican, M. Rodriguez Aguilar y Remudadero, éste último a 5 km. al sur del área de estudio.

EPOCA/SERIE/	CIMA (M.S.M.R.)		P O Z O S							
FORMACION	ACTOPAN-4	ACTOPAN-3	JALAPA-1	ESPUMA-1	CHICAPULTECO 2	CICLUMEN-1	CHALCOPAN 2	CHICAPULTECO 1	ACTOPAN-1	ACTOPAN-2
REGIENTE	8	3.8	AFLOTA	8	AUMENTE	AUMENTE	AFLOTA	AFLOTA	AUMENTE	AFLOTA
PLEISTOCENO	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE
PLIOCENO	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE
M.M. ENCANTO I.	178	178	AUMENTE	40	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	128	0	AUMENTE
M. I. LA LWA	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	MIOC. INDIF.	AUMENTE	AUMENTE
OLIO SUPERIOR	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	0	3	888	AUMENTE	AUMENTE
OLIO MEDIO	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	OLIO INDIF.	398	AUMENTE
O.I. PALMA REAL I.	420	367	AUMENTE	180	AUMENTE	88	80	AUMENTE	848	78
O.I. HONGONES	880	840	AUMENTE	318	AUMENTE	480	80	AUMENTE	788	218
E.G. CHAPOTE	1128	1084	AUMENTE	840		888	420	730	1110	810
E.M. QUAYABAL	1270	1288	AUMENTE	1038	AUMENTE	AUMENTE	780	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE
E.M. CHICONTEPEO	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	1480	AUMENTE	AUMENTE
E. I. ARAQUON	1370	1399	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	1048	1440	AUMENTE	1220	848
P. VELASCO	1430	1430	AUMENTE	1120	AUMENTE	1118	1640	1620	1430	810
K.S. MENDEZ	1848	1880	AUMENTE	1229	AUMENTE	1319	1680	1748	1828	1088
K.S. SAN FELIPE	1888	1891	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	1348	AUMENTE	1840	1888	1128
K.S. GUZM. PLAT.	1878	1873	AUMENTE	1248	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE
K. S. GUZM. PEL.	1888	1880	K.M. OR. 14	1312	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE	AUMENTE
K. S. MALTAYATA (AGUA NUEVA)	1778	1798	788	1480	AUMENTE	1377	AUMENTE	1088	1828	1167
K. M. ORIZABA (ABRA)	1888	1828	818	1488	0-11 80 (ALB. SUP.) 1128 CON TUR. CENOL	1820	1848	2280	1864	1417
K. INFERIOR	AUMENTE		2412						2388	
J. S. PIMIENTA	AUMENTE		2488							
J. S. SAN PEDRO	3434		2818							
J. M. CAHUAGAS	3889		2770							
SACAMENTO	3877	DIAMETO DE	PISTIA DEL	CAMBIOPEO	TEMPERADO					
PROFUNDIDAD TOTAL	3722	1980	3220	1770	1707 (ALB. SUP.)	3032	2492	2488	2834	2801
RESULTADO:	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA	IMPREG. POR FASION DE AGUA SALADA
OBSERVACIONES:	8.8. DE 3.8 M. INTRUSO LA COLUMNA	7.8. INTRUSO IMPREG. DE 18 M. JERICO	PALLA RV. A NIVEL DE CRET MEDIO	UN BAINADO DOLICHO	EL K O ESTÁ INTRUSO POR CRET MEDIO	EL K O ESTÁ INTRUSO POR CRET MEDIO	EL K O ESTÁ INTRUSO POR CRET MEDIO	IMPREG. DE DE 11.80 DE 11.80	IMPREG. DE DE 11.80 DE 11.80	IMPREG. DE DE 11.80 DE 11.80
MANIFESTACIONES:	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.	IMPREG. DE AC CAFE OSCURO VINO EN PROC. ATUEL K.M. Y K.S.

Fig. 51a POZOS PERFORADOS EN EL AREA DE ESTUDIO.

***Superior**

Formación Maltrata o Agua Nueva (Turoniano-Cenomaniano).-En los pozos Actopan-3 y Actopan-4 está constituida por Mudstone café oscuro, microcristalino, arcilloso. Trazas de pedernal café oscuro y bentonita verde esmeralda. En el pozo Actopan-2, un espesor de 117 m. de éstas rocas presentaron trazas y manchas de aceite viscoso café oscuro, en tanto que en el pozo Chicuasén-1 un espesor de 92 m. se encontró impregnado de aceite café oscuro. Las rocas de ésta Formación afloran en las cercanías del pozo Jalapa-1.

Formación Guzmantla (Turoniano Tardío-Conaciano).-En los pozos Actopan-3 y Actopan-4 las rocas de esta Formación presenta dos facies una Pelágica y otra de Plataforma. La facie Pelágica está constituida por mudstone café oscuro a crema, grainstone que gradúa a packstone de color café claro a crema, ligeramente arcilloso, con fracturas selladas por calcita. Trazas de pedernal café, bentonita verde claro. La facie de Plataforma consiste de grainstone crema y blanco cremoso con impregnación de aceite café oscuro.

Formación San Felipe (Santoniano Tardío-Campaniano).- Constituida por mudstone arcilloso gris verdoso que gradúa packstone, con pequeños cuerpos de margas café amarillento. Ocasionalmente con intercalaciones de bentonita verde esmeralda y lutita gris verdoso, con bandas y nódulos de pedernal gris humo, ambar y café oscuro. Las rocas de ésta Formación afloran en las cercanías del pozo Chavarrillo-2.

Formación Méndez (Campaniano Superior-Maestrichtiano).- Consiste de una serie de margas café rojizo a gris verdoso, hacia la base de ésta Formación se observan delgadas intercalaciones de mudstone arcilloso de color gris verdoso. Las rocas de ésta Formación afloran en las cercanías del pozo Chavarrillo-2.

-TERCIARIO:

***Paleógeno.**

Paleoceno:

Formación Velasco (Landeniano).- Constituida por una secuencia de lutitas gris a gris verdoso, ligeramente arenosa, lutitas bentoníticas, trazas de bentonita y escasa arenisca.

Eoceno:

***Inferior.**

Formación Aragón (Ipresiano-Luteciano).- Consiste de lutita gris verdoso y lutita gris claro, en partes arenosa, alternan con cuerpos delgados de arenisca café grisáceo, de grano fino.

***Medio.**

Formación Chicontepec (Luteciano).-Consiste de una serie de lutita gris verde, compacta, arenosa, fragmentos de caliza y de pirita diseminada y delgadas capas de arenisca gris de grano fino en matriz arcillo-calcárea.

Formación Guayabal (Luteciano).- Constituida por lutita gris verdoso, bentonítica, plástica ligeramente arenosa . Trazas de arenisca gris de grano fino a medio y bentonita verde claro.

***Superior.**

Formación Chapopote (Priaboniano).- Constituida por lutita gris y gris verdoso, en partes arenosa con intercalaciones de arenisca gris oscura y café grisáceo, compacta, de grano fino a medio, en matriz arcillo-calcárea.

Oligoceno:

***Inferior.-**

Formación Horcones (Lattorfiano).- Constituida por lutitas gris claro en partes arenosa y gris oscuro que alterna con intercalaciones de arenisca gris y café grisáceo de grano fino a medio, compactas, en matriz arcillo-calcárea. En el pozo Actopan-3 se cortaron 3 intrusiones de roca ígnea verde a verde oscuro a la profundidad de 666, 684 y 762 M.B.M.R. respectivamente.

***Medio.-**

Formación Palma Real Inferior (Rupeliano).- Constituida por lutita gris claro a gris verdoso, con delgadas intercalaciones de arenisca gris, de grano fino a medio. En el pozo Chicuasén-1 se encontró fauna de acarreo del Cretácico Superior Méndez, Paleoceno Velasco y del Eoceno Aragón. En los pozos Actopan-3 y Actopan-4, en la base de esta formación se encontró un cuerpo de conglomerado constituido por fragmentos de cuarzo blanco, caliza café, crema y blanca biógena, con matriz arcillo-calcárea.

***Superior.**

Sin Nombre Formacional.- En el pozo Chalcoyan-2, consiste de tobas de color ocre y crema con intercalaciones de gravillas y conglomerados de material volcánico, en el pozo Chavarrillo-1, la litología consiste de lutita gris verde, suave, plástica ligeramente arenosa escasa pirita, trazas de caliza crema y arenisca gris de grano fino, restos de corales, trazas de fluorescencia amarillo claro y ligero olor a gas.

Néogeno

Mioceno

***Inferior.**

Formación La Laja.- Consiste de lutita gris verde compacta, pequeños fragmentos de caliza crema.

***Medio.**

Formación Encanto Inferior (Burdigaliano).- Constituida por lutita gris oscuro a gris verde, suave, en partes arenosa, alternando con delgadas intercalaciones de arenisca gris verde y gris oscuro, de grano fino a medio, en matriz arcillosa. Trazas de caliza crema, biógena, restos de moluscos y aislados fragmentos de material piritizado.

Cuaternario.-

La parte superior está constituida por material volcánico; principalmente basalto de color gris oscuro a negro, en partes presenta coloraciones que varían de rojo a verde producidas por óxido de hierro, además se observa bentonita de color crema y verde, así como escasa toba de color ocre y gris. En la parte inferior se observa conglomerado formado de cantos de diversos tamaños de caliza gris verde, gris crema, caliza dolomítica café claro, basalto, pedernal negro y marga gris compacta. Hacia la base se observa una serie de intercalaciones de arenisca, conglomerados y lutita gris verde arenosa.

En la figura 51b se presenta la tabla estratigráfica del área de estudio.

III.3.d Estructural .

El patrón estructural regional es complejo debido a que ha sido afectado, a lo largo del tiempo Geológico, principalmente por tres fases de deformación: distensiva, compresiva y distensiva, cada una con características estructurales propias, las cuales son descritas a continuación:

-Fase de deformación distensiva. La arquitectura original de la Provincia Geológica del Papaloapan fué producto de una Tectogenia Triásica, seguramente relacionada a la apertura del Golfo de México, que por medio de movimientos de cizalla, generó un sistema de Horsts y Grabens, que más tarde se cubrirían por mares someros, formándose grandes espesores de carbonatos .

-Fase de deformación compresiva .Está relacionada con el evento tectónico Laramide, el cual generó levantamiento, plegamiento, erosión y fallamiento inverso en los sedimentos del Mesozoico, emergiendo en algunos lugares, constituyendo, por ejemplo: la sierra de Chavarrillo y de Apazapan entre otras. En el mapa geológico de la Figura 50 se observan las principales estructuras, las cuales consisten de anticlinales, sinclinales y fallas inversas, todos ellos con dirección NW-SE. Los anticlinales Chavarrillo y Tenexapa están abiertos en calizas de la Formación Guzmanla del Cretácico Superior y son asimétricos hacia el oriente en cuyo flanco se encuentra una falla de tipo inverso que pone en contacto rocas de las Formación Guzmanla con las rocas de las formaciones San Felipe y Méndez, todas ellas del Cretácico Superior (Gutierrez 1973).

El anticlinal de la Campana está conformado por rocas de las formaciones Guzmanla y Maltrata del Cretácico Superior y Orizaba del Cretácico medio ésta última en contacto por falla inversa con rocas del Reciente. Los pozos Jalapa-1 y Chavarrillo-2 se perforaron sobre los anticlinales de la Campana y Chavarrillo respectivamente (Fig. 50).

ERA	PERIODO (SISTEMA)		EPOCA (SERIE)	EDAD (PISO)	M. A.	FORMACION	LITOLOGIA
CENOZOICA	CUATERNARIO		RECIENTE		001		BASALTO OPR OSCURO TOMA DE COLOR COBRE EXCAVA LUT. DE TAMPOR AL TERNADO CON APRENDA OPR PERIODO DE GRANO OPRUEBO. POCA O. INTA DE COLOR OPR OSCURO.
			PLEISTOCENO	CALABRANO	10		CONCHA OPRUEBO DE CALZAS OPR VERDE Y OPR CREMA BASALTO PEDEPINAL MEDIO Y ALTA CEMENTADO CON APRENDA OPR.
	TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO	8	34		
				I	53		
				8	112		
			MIOCENO	M	148	ENCANTO INF.	LUTITA OPR OSCURO A OPR VERDE
				I	219		
				8	227	LA LAMA	LUTITA OPR VERDOSA
			OLIGOCENO	8	300	SIN NOMBRE	TOMAS COLOREDOR CORRIENTE DE OPRUEBO Y COMA DE MATERIAL VOLCANICO
				M	308	PALMA REAL INF.	LUTITA OPR CLARO A VERDE
				I	308	HORICONES	LUTITA OPR CLARO EX FUENTES APRENDA CON INTERCALACIONES DE APRENDA
			EOCENO	8	400	CHAUOPOTE	LUTITA OPR Y OPR VERDOSO APRENDA CON INTERCALACIONES DE APRENDA
				M	520	GUATAMAL CHICONTPEC	LUT. OPR VERD. BONTICA LQ. APRENDA
				I	570	ARAGON	LUTITAS OPR VERDOSA Y OPR CLARO
			PALEOCENO	8	630	VELASCO	LUTITAS APRENDA, BENTONITAS Y TRAZAS DE BENTONITA Y APRENDA
				I	684		
			SUPERIOR	MAESTRICHTIANO	740	MEDEZ	MUDROS CAPE PEZUO CON INTERCALACIONES DE MUDSTONE APOLLODO.
				CAMPANIANO	940		
				SANTONIANO	970	SAN FELPE OLIZA PLAT.	MUDSTONE OPR BLUZO APC. CON INTER. DE BENTONITA VERDE CLARO. OPRUEBO CREMA QUE OPRUEBO A PACKSTONE CAPE CLARO.
			MEDIO	CONIACIANO	980		
				TUROMIANO	990	MALT. AQUIS N-OLIZ. PEL.	MUDSTONE CON TRAZAS DE PEDEPINAL
				CEONMANIANO	1070	OFIZADA	MUDSTONE, OPRUEBO Y PEDEPSTONE QUE OPRUEBO A WACKSTONE PARCIALMENTE DOLOMITIZADO.
			INFERIOR	ALBANO	1130		
				APTIANO	1160		
			SUPERIOR	BARREMIANO	1240		
				HAUTERVIANO	1270		
				YALANGIANO	1280		
MESOZOICA	CRETACICO		SUPERIOR	BERGASIANO	1440	SIN NOMBRE	CALZAS DOLOMIT. CAPE CLARO AN-MORTAS.
				CONIACIANO	1520	PIMENTA	CALZA APOLODO.
				CONIACIANO	1540	SAN PEDRO	CALZAS DOLOMITICAS CAPE CLARO DOLOMITA APRENDA OPR CLARO DE GRANO FINO.
			MEDIO	ALBANO	1620		
				APTIANO	1640		
				APTIANO	1670	CAJALAS	APRENDA CAS PEZUO CONIT. POST OPRUEBO DE CLARZO BLANCO VERDE Y MARFAL.
			INFERIOR	APTIANO	1700		
				APTIANO	1820		
				APTIANO	1870		
			SUPERIOR	APTIANO	1930		
				APTIANO	1980		
				APTIANO	2040		
	JURASICO		SUPERIOR	APTIANO	2060		
				APTIANO	2250		
				APTIANO	2300		
			MEDIO	APTIANO	2360		
				APTIANO	2400		
				APTIANO	2460		
			INFERIOR	APTIANO	2480		
				APTIANO	2600		
				APTIANO	2680		
			SUPERIOR	APTIANO	2700		
				APTIANO	2800		
				APTIANO	2860		
PALEOZOICA	PERMICO		SUP. , INF.		2900		
					3000		
	CARBONIFERO		PENSILVANICO SUP.		3060		
			MISSISSIPPO INF.		3600		
	CAMBRICO		INFERIOR		3700		

Fig. 51b TABLA ESTRATIGRAFICA.

EROSION O NO DEPOSITO

En el mapa geológico de la Figura 50 se trazaron dos secciones estructurales con dirección SW-NE. En la primera (Ochoa,1970), se correlacionan las columnas estratigráficas de los pozos Jalapa-1, Actopan-2, Blanca Espuma-1 y Plan de las Hayas-1 (fuera del área), en la segunda (Gutierrez, 1973) se correlacionan las estructuras del anticlinal Jalcomulco, anticlinal Tenexapa, sinclinal Tacotalpan con el anticlinal Chavarrillo donde se perforó el pozo Chavarrillo-2. En las dos secciones (Figuras 52a y 52b) se observa el estilo estructural predominante en el área de estudio, el cual consiste de un sistema de bloques cabalgados que se profundizan al oriente, constituidos de calizas del Mesozoico, separados por fallas inversas, y que conforman el frente tectónico de la Plataforma de Córdoba, mientras que al oriente, se observa la Cuenca de Veracruz, constituida por sedimentos arcillo-arenosos-conglomeráticos del Terciario sobreyaciendo a rocas del Cretácico inferior-Jurásico, la columna sedimentaria descansa sobre un basamento granítico.

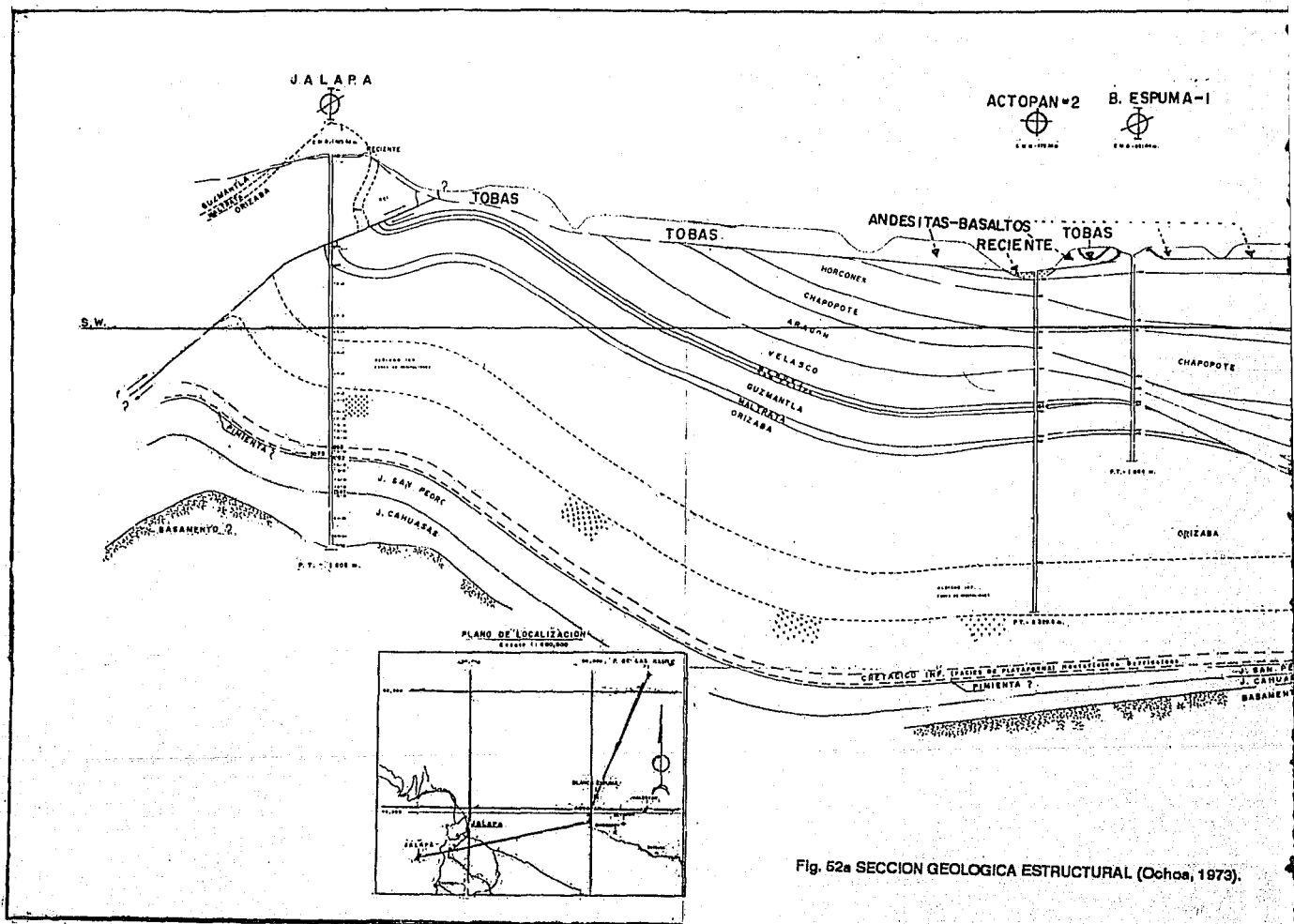
-Fase de deformación distensiva. Está asociada (Medrano,1990), a una etapa tectónica posterior al evento laramídico, donde se producen grandes bloques y fosas limitadas por fracturas y fallas normales, que funcionaron como vías por donde se emplazaron y expulsaron rocas ígneas intrusivas y extrusivas del Terciario y Cuaternario. A esta fase de deformación corresponden los lineamientos (fracturamiento) N-S y NE-SW del extremo oriente del Eje Neovolcánico (todos ellos fuera del área de estudio). Se considera (Yañez et al 1981) que el fracturamiento N-S (Fig. 53) facilitó el emplazamiento de los volcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote. Los lineamientos NE-SW, equivalen a fallas normales y de desplazamiento lateral que delimitan el graben de la región de Perote.

III.4 Metodología para el Análisis Espectral y Filtrado de Datos Potenciales.

El análisis espectral y filtrado es explicado considerando el diagrama de flujo de la figura 54. Primeramente se discretizan o digitizan los datos a procesar, si estos fueron tomados en áreas con topografía abrupta, entonces, también se captura el archivo de elevaciones de cada punto de la matriz de datos, el cual es utilizado para realizar la continuación analítica ascendente al plano horizontal, ubicado a la elevación máxima del área, si los datos se tomaron en áreas con topografía plana y al nivel del mar, entonces puede realizarse directamente el filtrado en el dominio espacial ó frecuencial.

Si se desea realizar el filtrado en el dominio espacial, entonces, se debe capturar el operador u operadores de interés, posteriormente se efectúa la convolución del operador y la matriz de datos, finalmente se grafican los resultados.

Si se desea realizar el filtrado en el dominio frecuencial, entonces se deben trazar y capturar los perfiles de interés, o bien se puede utilizar la opción del menú de graficación para obtener perfiles por columna o renglón de la matriz de datos.



ACTOPAN-2



B. ESPUMA-1



PLAN DE LAS HAYAS

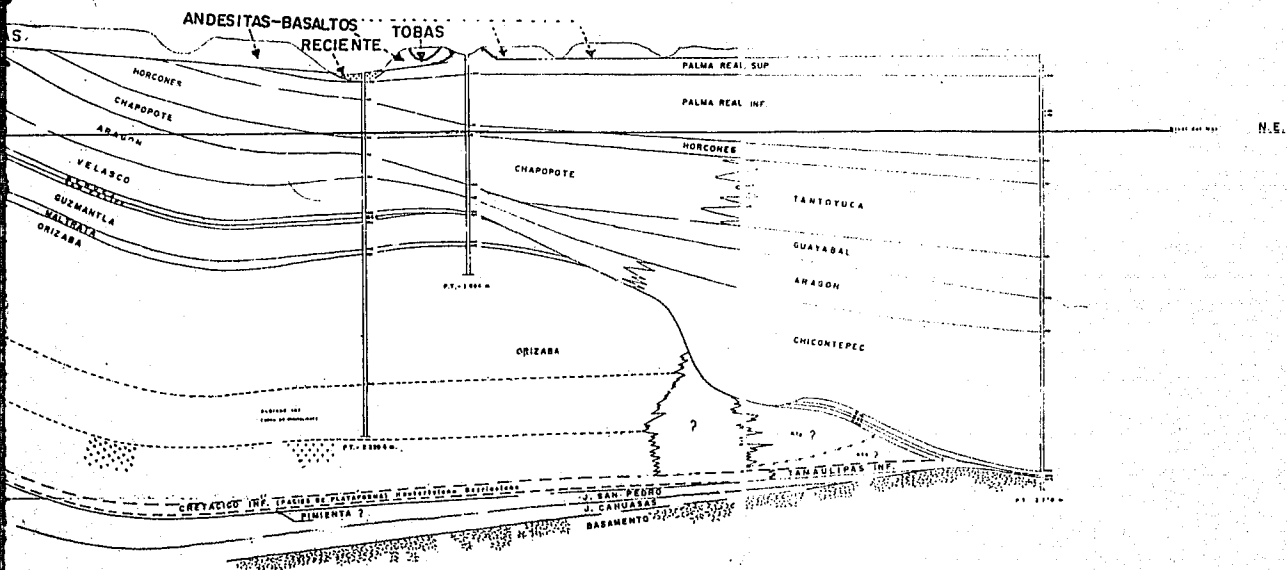
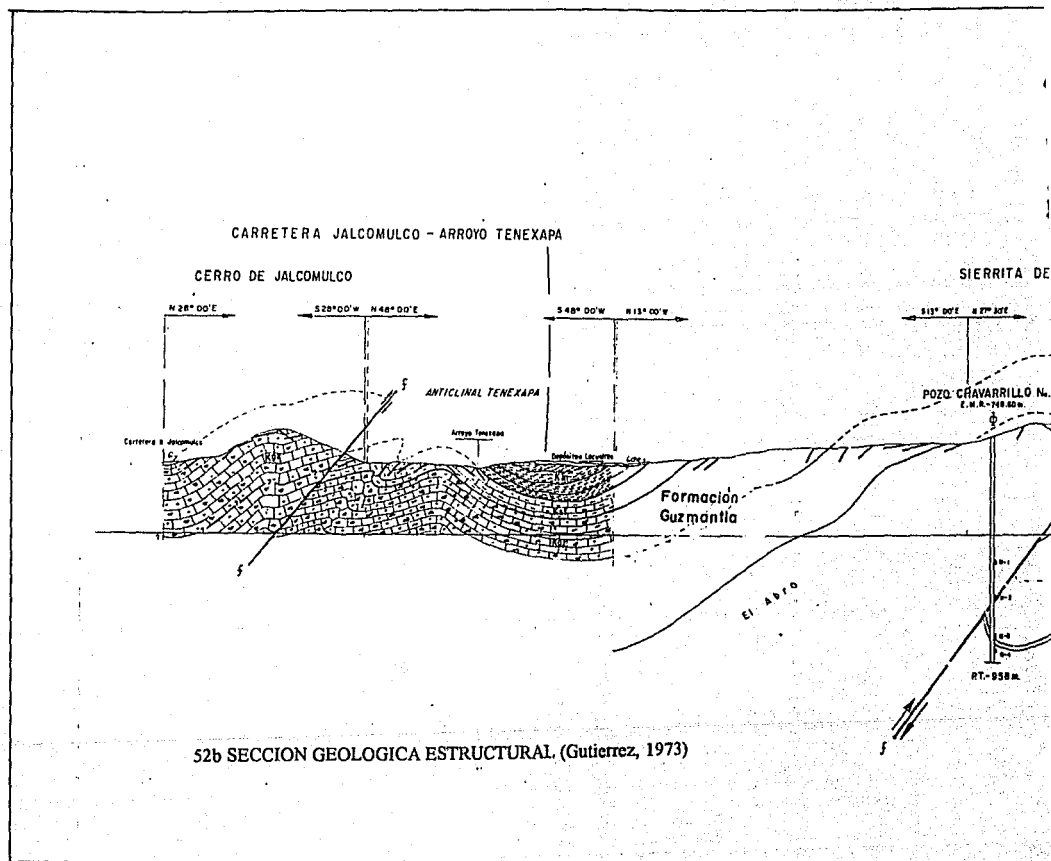


Fig. 52a SECCION GEOLOGICA ESTRUCTURAL (Ochoa, 1973).

PETROLEOS MEXICANOS	
CORPORACION MEXICANA DE PETROLEOS	
SECCION DE REPOSICION	
JALAPA-1-R DE LAS HAYAS-1	
SECCION DE REPOSICION DEL TUBO 1	
PROYECTO	1000-1000
FECHA	10-10-73
ELABORADO POR	ELABORADO POR
REVISADO POR	REVISADO POR
APROBADO POR	APROBADO POR



ALCO - ARROYO TENEXAPA

0°0'E 548° 00'W 813° 00'W

ANTICLINAL TENEXAPA

Arroyo Tenexapa

Depositos Lacustres

Formación Guzmantla

El Abro

CA ESTRUCTURAL (Gutierrez, 1973)

SIERRITA DE CHAVARRILLO

POZA CHAVARRILLO No. 2
E. N. N. - 748.40 m

513° 00'E N 27° 30'E

227° 50'W N 33° 00'E

RIO CHAVARRILLO

Kgf

San Felipe

RT-058M

El Abro

Km

Formación Guzmantla

NIVEL DEL MAR

San Felipe

México

Velasco

Basalto

Conglomerado

Caliche

Reciente

LEYENDA

Q	Reciente
Ca	Caliche
Congl.	Conglomerado
Ba	Basalto
Dep Lac.	Depositos Lacustres
Pv	Velasco
Km	México
Ksf	San Felipe
Kgz	Guzmantla

LEYENDA

	Margos
	Mudstone arcilloso
	Mudstone con microfauna

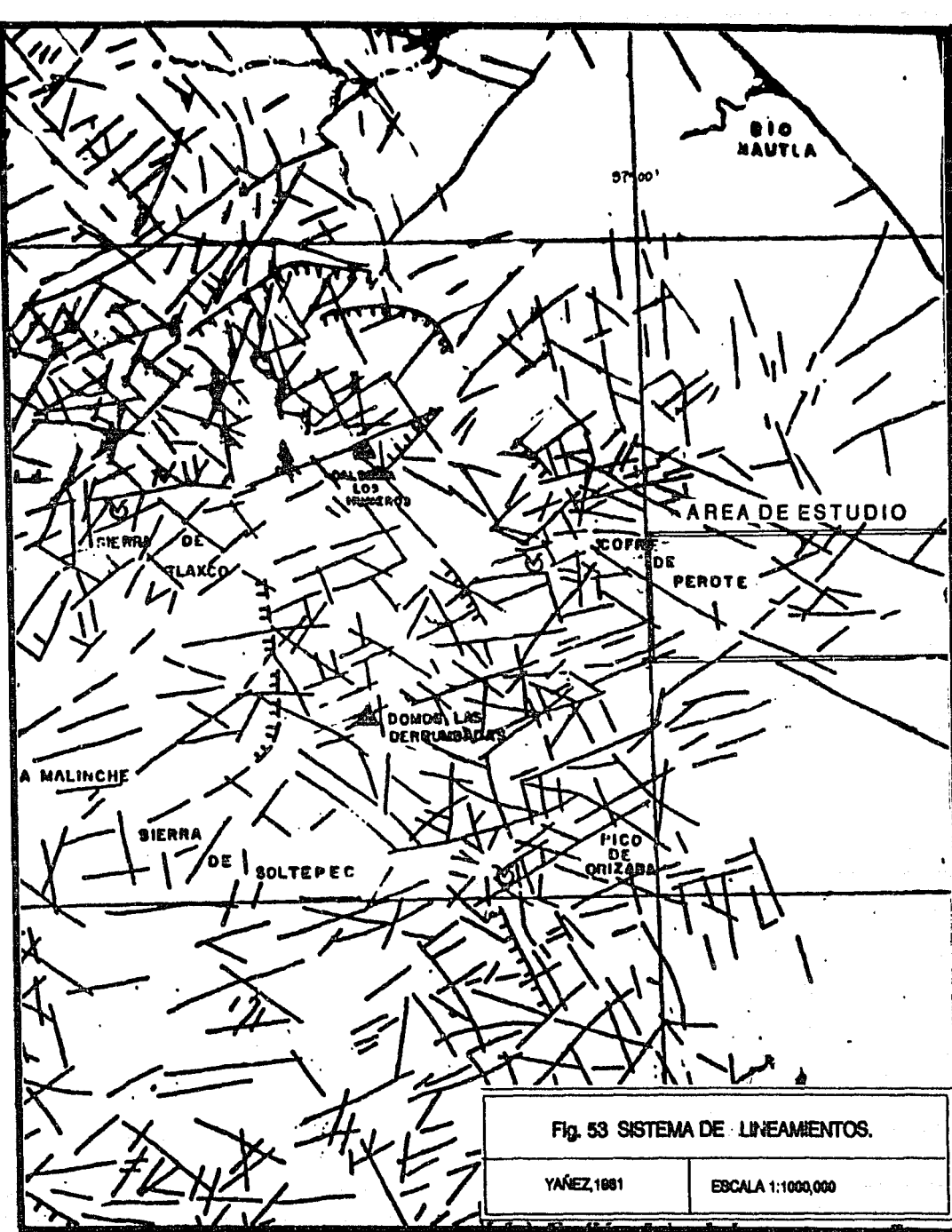


Fig. 53 SISTEMA DE LINEAMIENTOS.

YÁÑEZ, 1981

ESCALA 1:1000,000

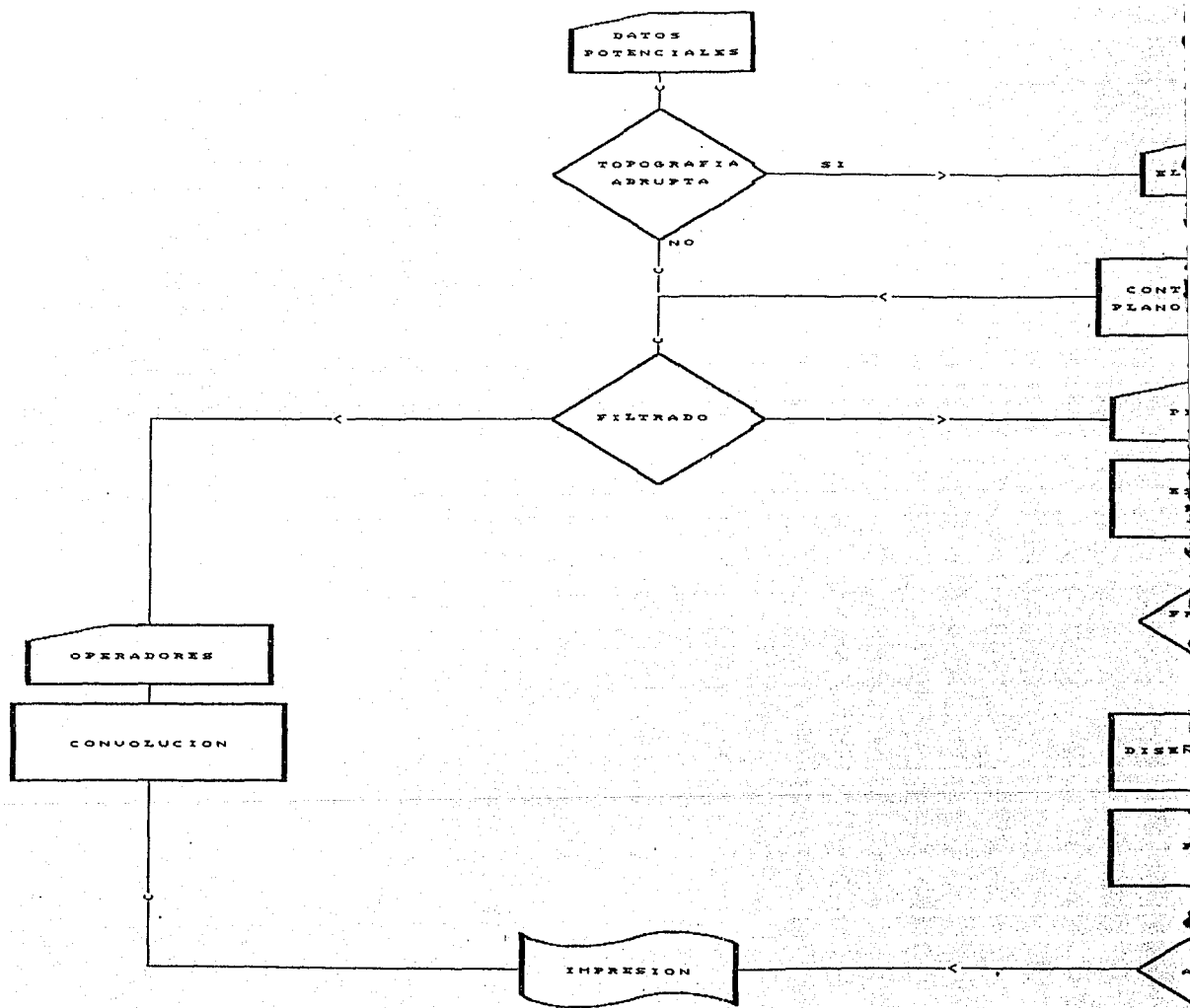


Fig. 54 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ANALISIS ESPECTRAL Y FILTRADO DE DATOS POTENCIALES .

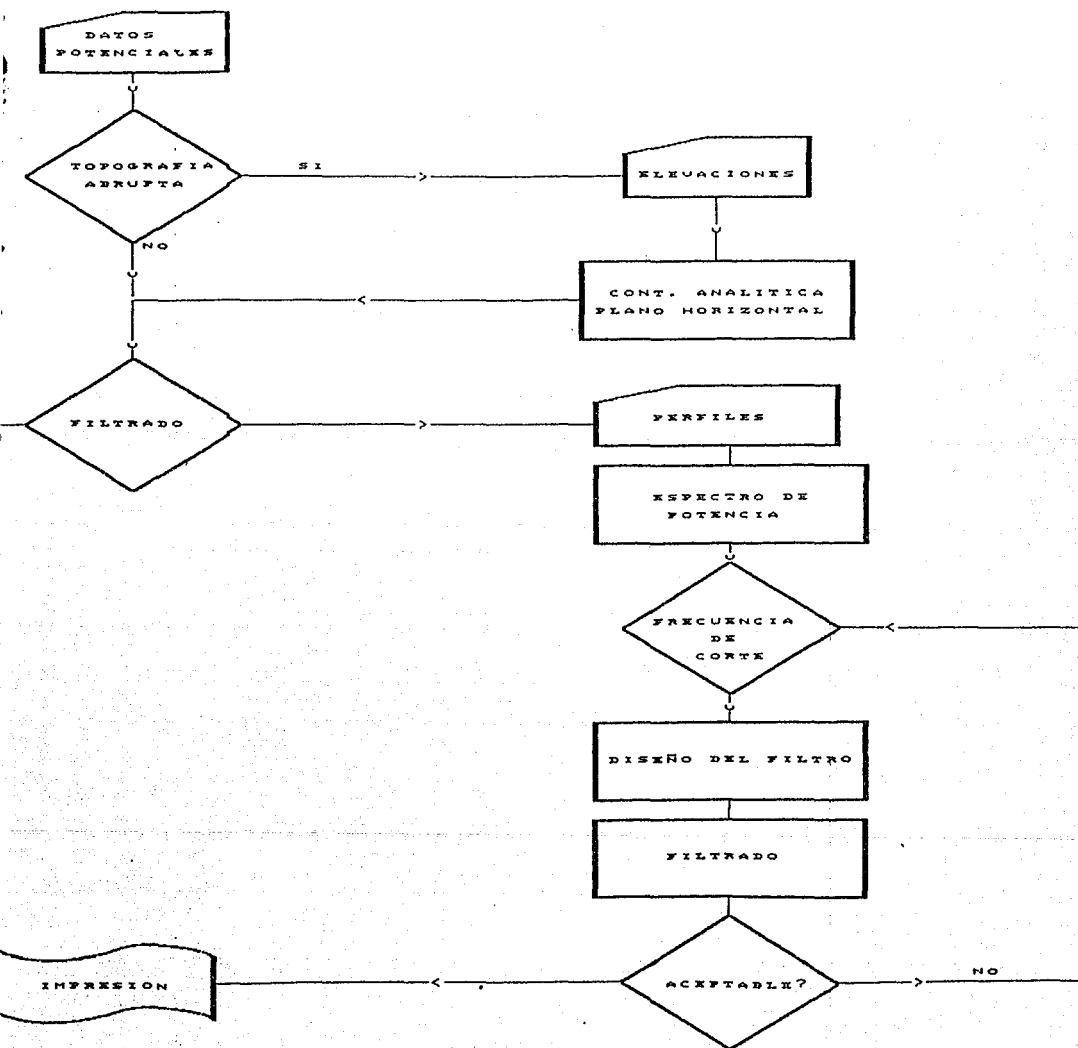


DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ANALISIS ESPECTRAL Y FILTRADO DE
DE DATOS POTENCIALES .

Para cada perfil se calcula y grafica el espectro de potencia, se realiza el análisis armónico y se selecciona la o las frecuencias de corte para el diseño del filtro pasa-baja, pasa-alta o pasa-banda adecuado al objetivo geofísico-geológico de interés. El filtro de Butterworth o Gaussiano diseñado se multiplica por la transformada de Fourier directa de la matriz de datos. Al producto anterior, se le calcula la transformada de Fourier inversa, el resultado es la matriz filtrada, después de su análisis, el interprete decidirá si es aceptable o no, si no lo es, entonces se diseña un nuevo filtro y se aplica a la matriz de datos hasta que la matriz filtrada reúna los requisitos de la interpretación .

III.5 GEOFISICA

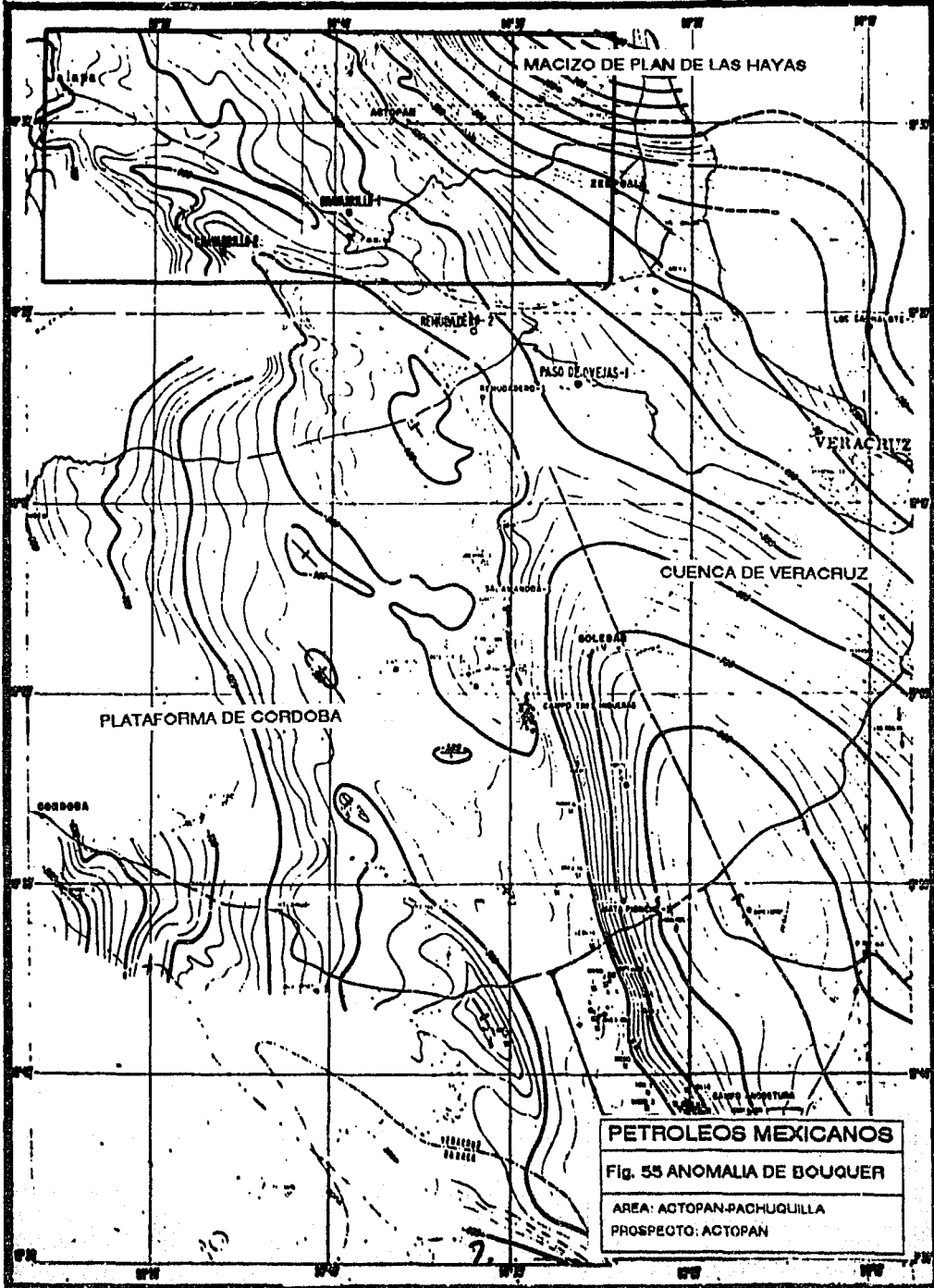
III.5.a Gravimetria.

En la figura 55 se muestra el mapa de la Anomalia de Bouguer, ubicada geográficamente entre los paralelos 18°30' y 19°35' de Latitud Norte y meridianos 96°10' y 97°00' de Longitud Oeste, donde se observa: al oriente un gran mínimo con dirección NW-SE, relacionado con un espesor potente de rocas del Terciario de la Cuenca de Veracruz, al occidente se observa un alineamiento de máximos, con dirección NW-SE, asociado a las rocas del Mesozoico de la Plataforma de Córdoba, en tanto que al NE se observa la influencia del Macizo de Plan de las Hayas, en la porción superior de esta figura se ha enmarcado el área de estudio.

En la figura 56 se presenta el mapa de la Anomalia de Bouguer, a una escala de 1:100,000 y con un intervalo de configuración de 10 U.G. el cual se generó de la discretización de otro mapa con escala 1:50,000 y con espaciamento de 1 km.. Además se han ubicado, los pozos perforados y los puntos vibrados de las secciones sísmicas.

A continuación, se presenta un análisis cualitativo del mapa de Anomalia de Bouguer: al oriente se evidencia la influencia del Macizo del Plan de las Hayas, donde se tiene un fuerte gradiente de hasta 50 U.G./km.; en la porción central-norte el gradiente se hace más suave pero distorsionado, originado por la presencia de posibles estructuras dentro de la carpeta sedimentaria; al occidente se tiene un alineamiento de mínimos con dirección NW-SE, causado posiblemente por el contraste lateral entre las rocas del Mesozoico del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba y las rocas de Terciario de la Cuenca de Veracruz .

Desde el punto de vista de señales, se observa que el mapa de Anomalia de Bouguer, es una señal con un gran contenido de frecuencias, por lo que, si se desea rescatar las anomalías producto de cuerpos dentro de la carpeta sedimentaria y que pueden ser de interés económico-petrolero, es necesario realizar un análisis armónico y posteriormente discriminar con un filtro pasa-banda aquellos armónicos indeseables .



710 720 730

2165

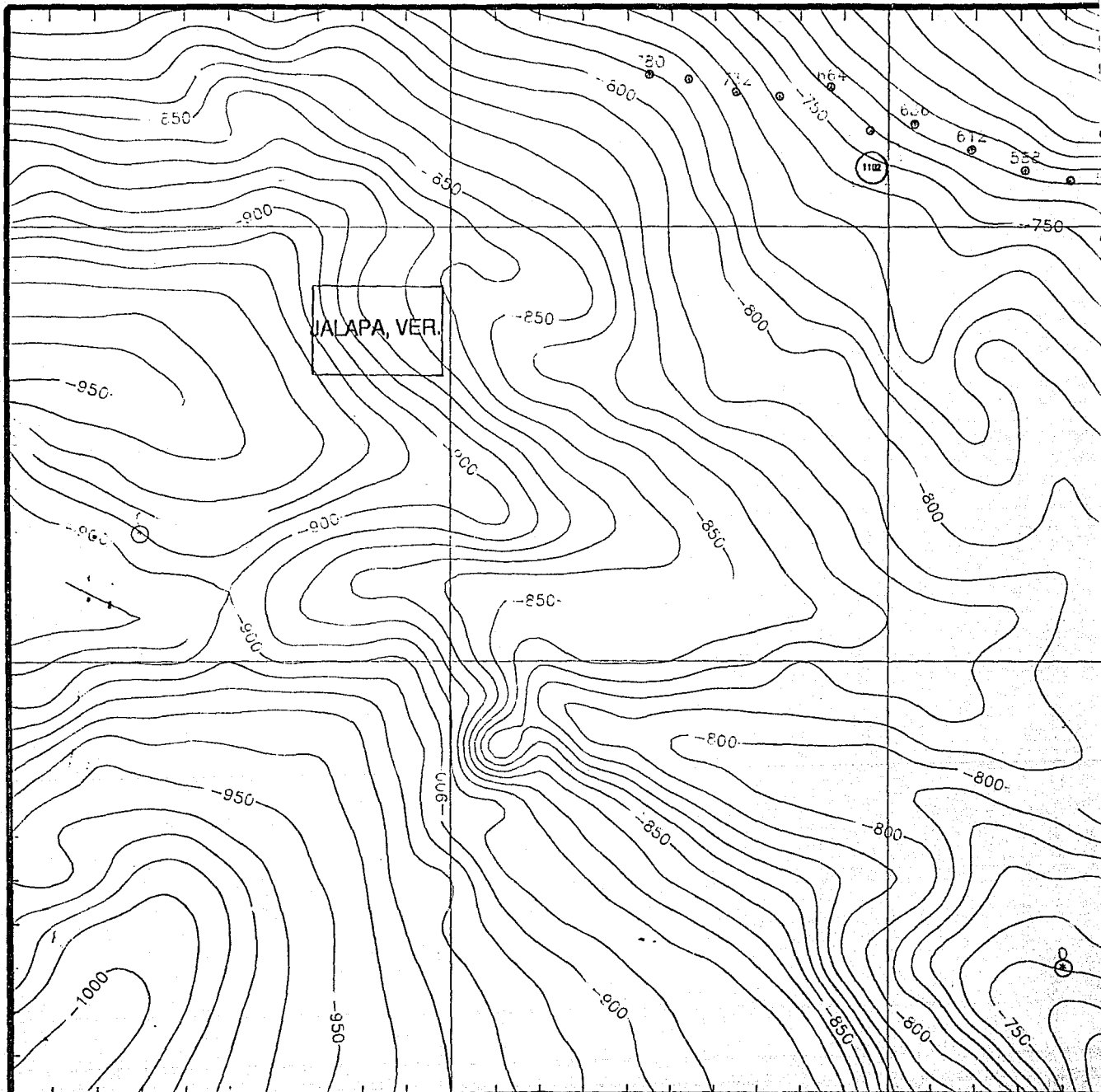
JALAPA, VER.

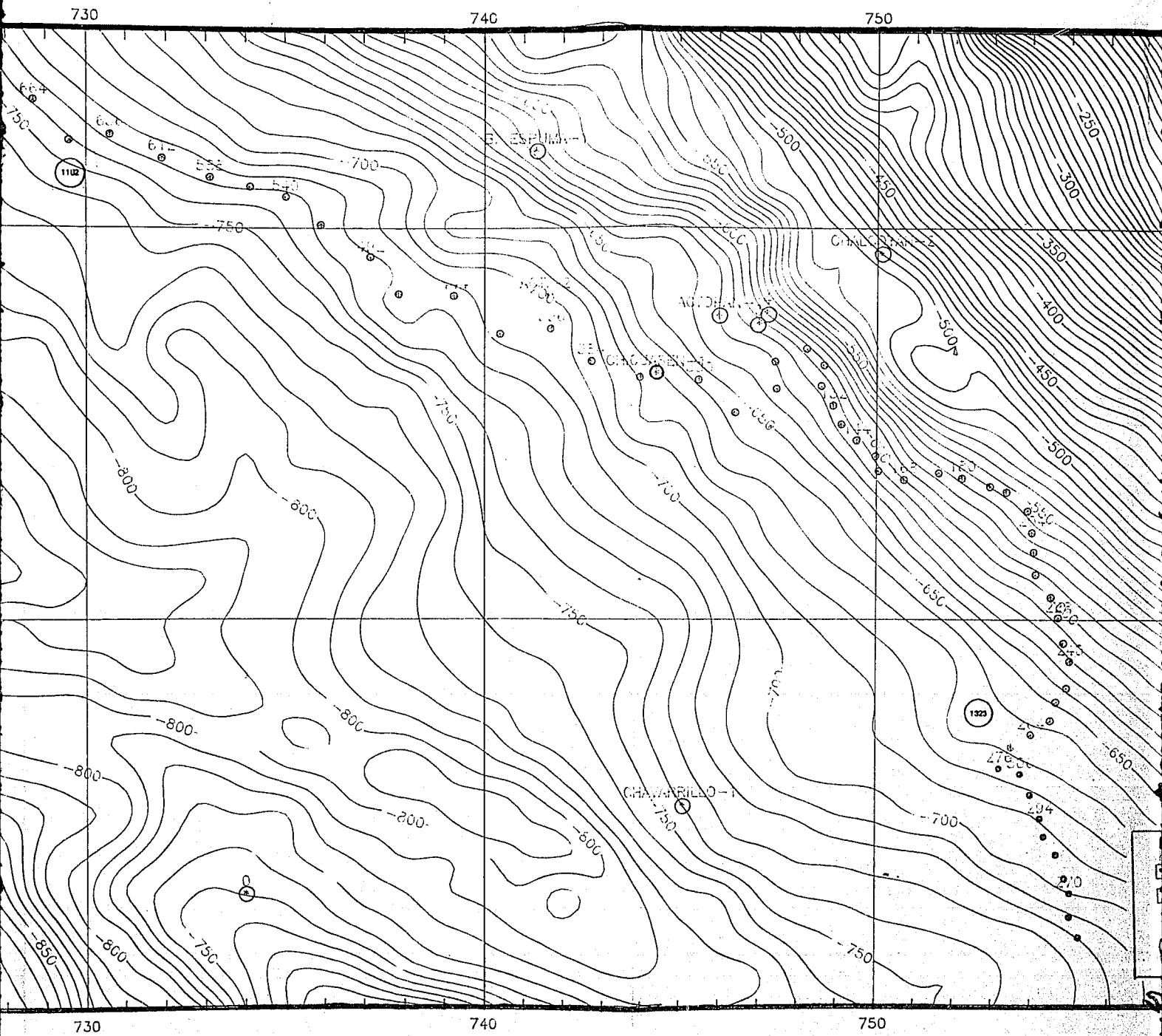
2155

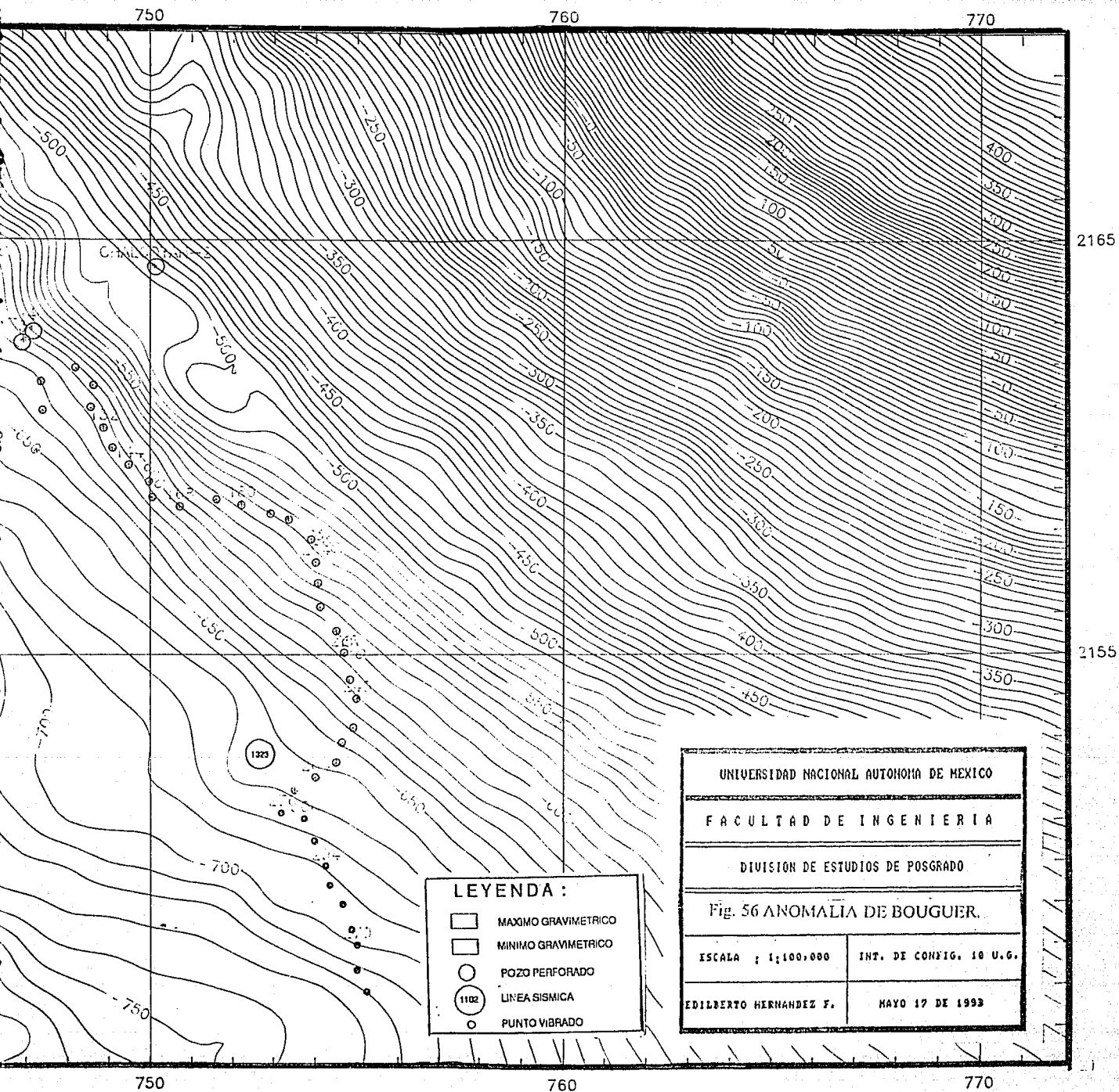
2145
710

720

730







Como el orden de la matriz de la Anomalia de Bouguer es de 25 X 63, para efectos de filtrado espacial no representa ningún problema, sin embargo para el filtrado frecuencial si lo es, por dos razones. La primera es que el algoritmo de proceso de la Transformada de Fourier es de base 2, la otra es que las matrices a filtrar deberán ser cuadradas y de base 2. Estas limitantes se satisfacen al considerar, por un lado el contenido frecuencial de la señal de la Anomalia de Bouguer sugiere la realización de análisis armónico en toda el área de estudio y por otro, que el sistema de proceso permite tomar matrices cuadradas de orden menor a la matriz fuente.

Utilizando la metodología propuesta en el inciso III.4 se procedió al análisis espectral, diseño de filtros y filtrado de una matriz de (16x16) datos de la Anomalia de Bouguer (Fig. 57a), en la figura 57b se presenta la matriz de elevaciones. De la continuación analítica a 1.8 km. s.n.m. (Fig. 57c) se tomaron perfiles por renglones, los más representativos se presentan en las figuras 57d, 57e y 57f, su espectro de potencia se presenta en las figuras 57g, 57h y 57i donde el eje vertical (amplitud) se ha graficado logarítmicamente, de su análisis se deduce que las frecuencias de corte para filtros pasa-baja, pasa-alta y pasa-banda pueden tomar valores cercanos a 0.12, 0.37 y de [0.12 a 0.4] de la frecuencia de Nyquist. Después de algunas pruebas de diseño del filtro pasa-banda de Butterworth, se determinó que el que rescataba adecuadamente las anomalías es aquel cuyas frecuencias de corte son: [0.16,0.37] (figura 57j). En la figura 57k se presenta el mapa filtrado.

De la misma manera se analizó toda el área de estudio y después de varias pruebas se determinó que el filtro anterior y otro cuyas frecuencias de corte son [0.12,0.31] rescataron de mejor manera las anomalías de interés.

Posteriormente, todos los mapas de (16x16) se empataron para obtener un mapa de Anomalías Residuales Pasa-Banda, a escala 1:100,000 y con intervalo de configuración de 2 unidades (Fig. 58).

A continuación, se interpreta cualitativamente el mapa de Anomalías Residuales Pasa-banda. Las anomalías positivas se iluminaron de color amarillo, las negativas de verde, en tanto que sus ejes se iluminaron de rojo y verde oscuro respectivamente, el nombre se tomó de las poblaciones cercanas a ellas.

Del mapa de anomalías pasa-banda destacan tres regiones:

En la primera, ubicada en la porción SW se observan tres anomalías positivas con magnitudes de 12, 12 y 16 unidades y con dirección casi W-E, denominadas Cuauhtémoc, Pacho Viejo y Pacho Nuevo. Al norte de la Anomalia Cuauhtemec se perforó el pozo Jalapa-1, si ésta correspondiera a una estructura en el subsuelo, entonces el pozo quedó flanqueado a la misma.

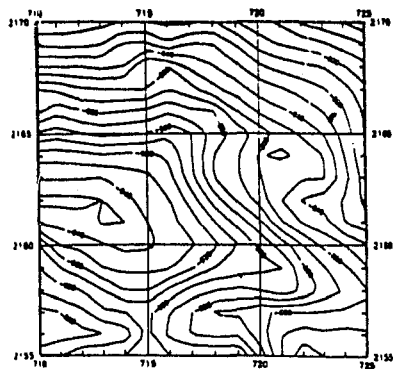


Fig. 57a ANOMALIA DE BOUGUER.

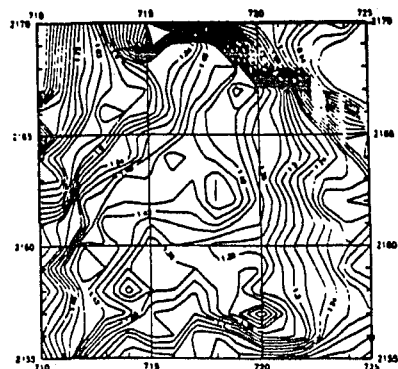
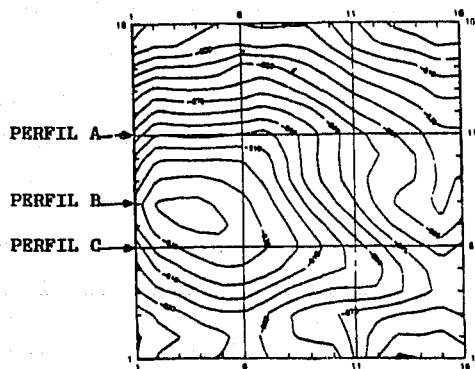
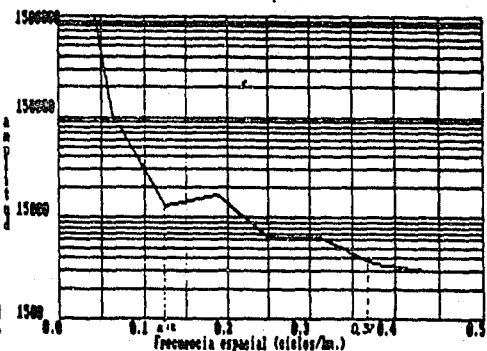
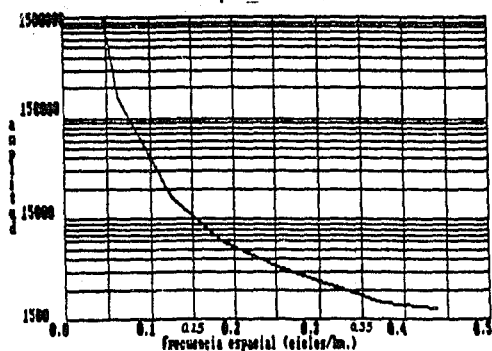
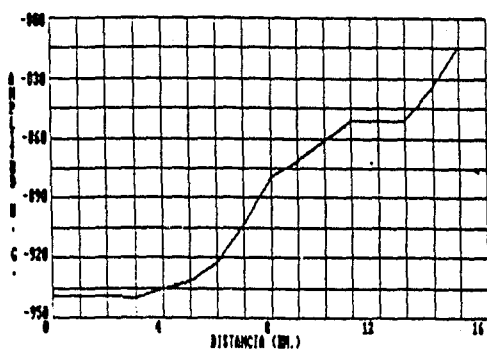
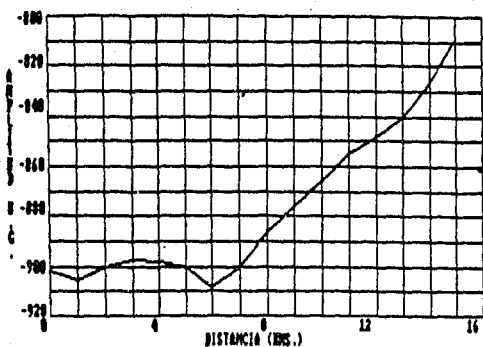


Fig. 57b MAPA DE ELEVACIONES.





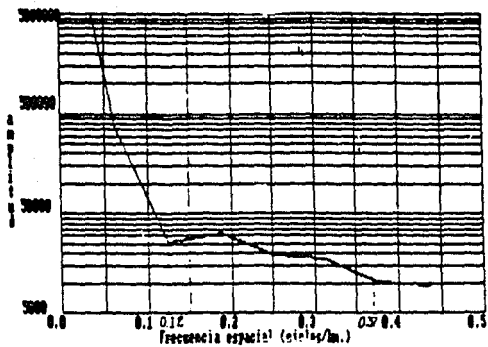
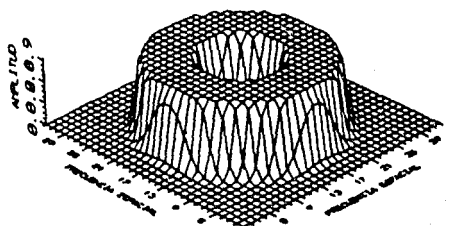


Fig. 57i PERIODOGRAMA DEL PERFIL C.



FILTRO PASABANDAS $F_c = .16 \dots .37$ JA32F.FL2

Fig. 57j FILTRO PASA-BANDA $F_c[.16..37]$.

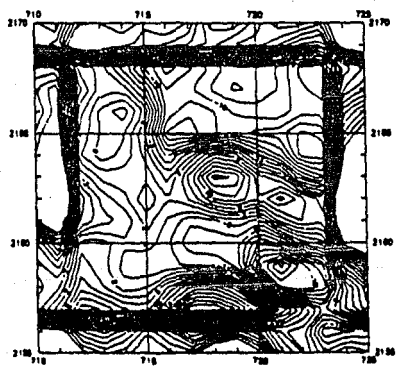
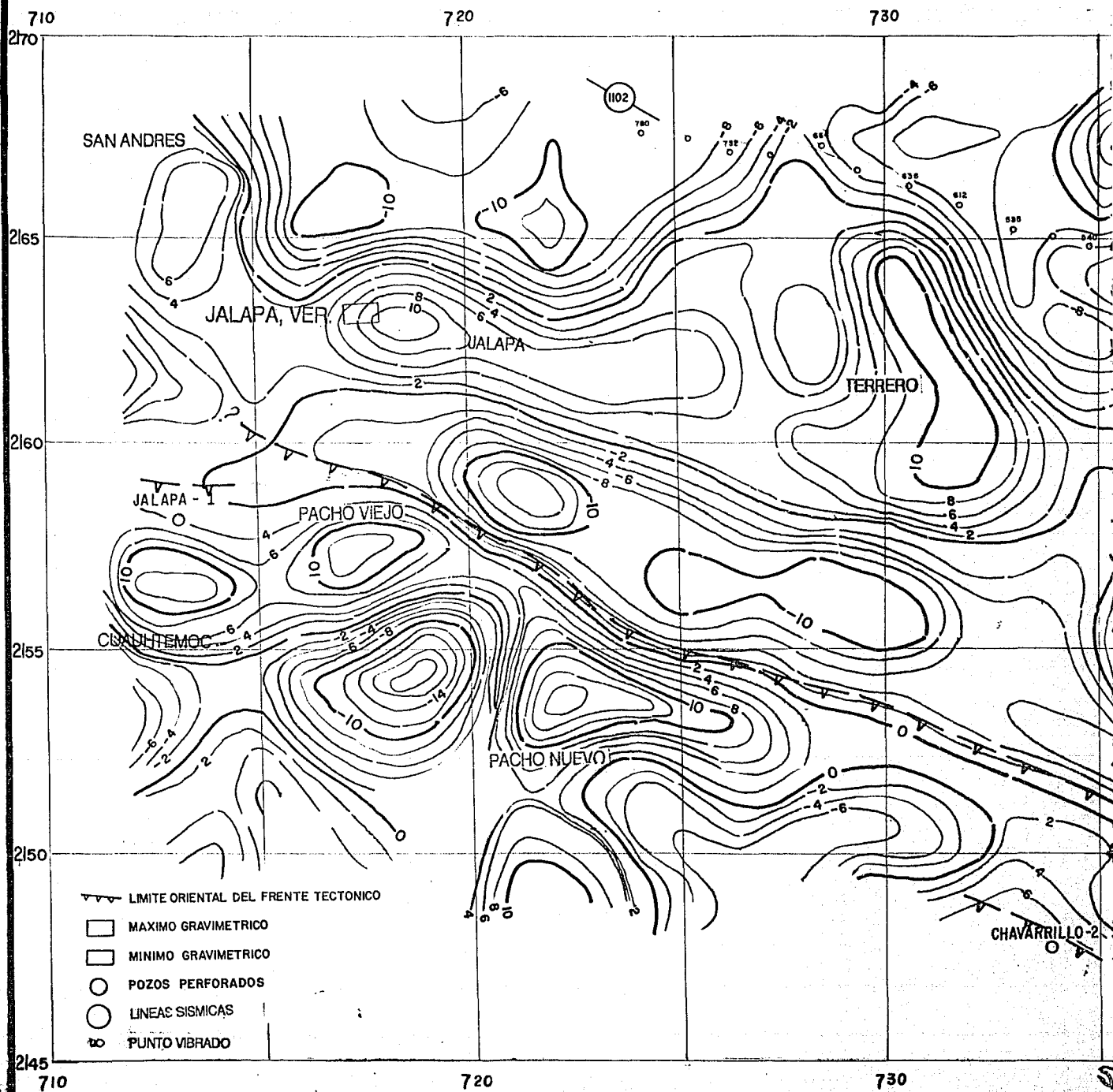


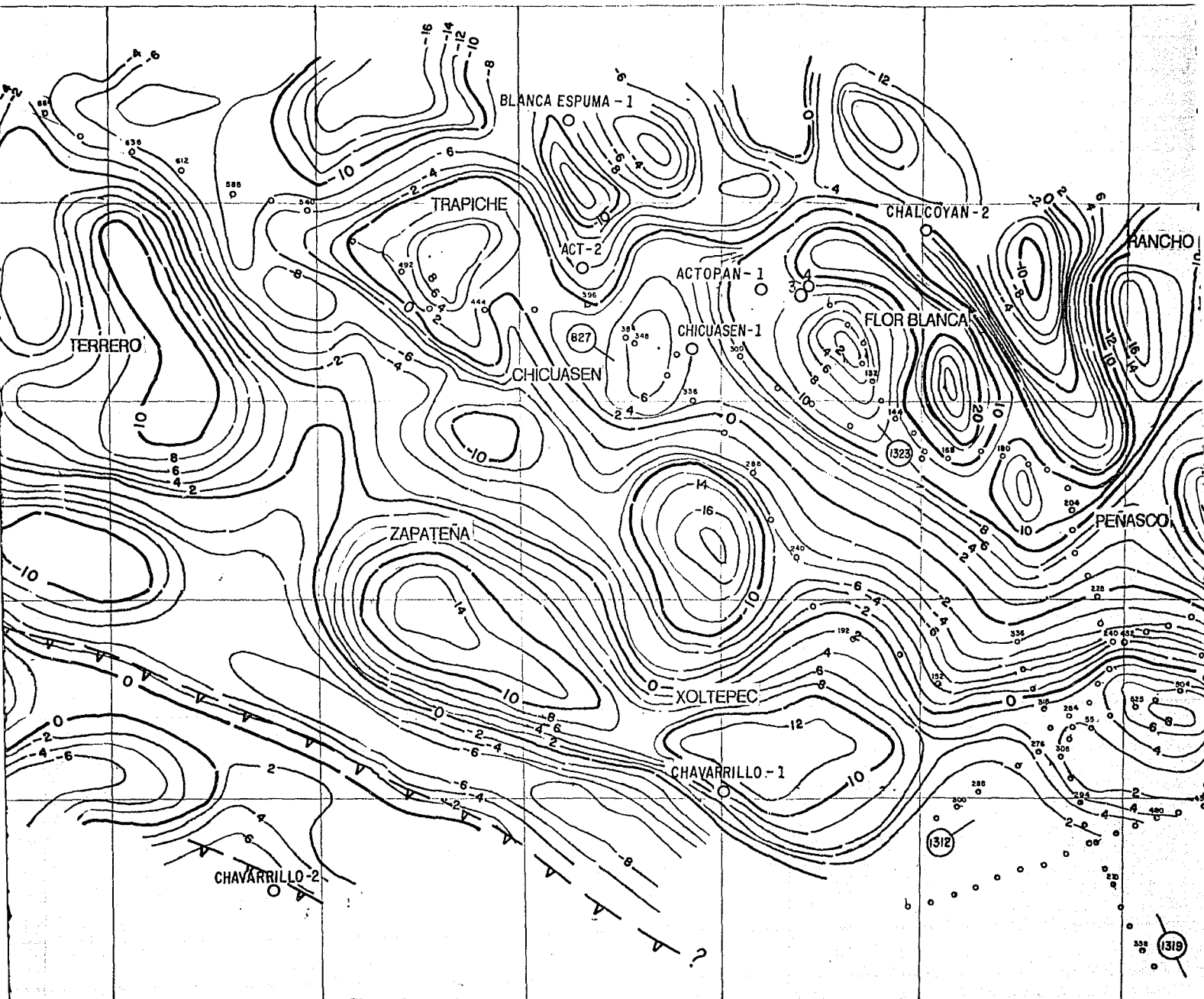
Fig. 57k MAPA GRAV. PASA-BANDA.



730

740

750



730

740

750

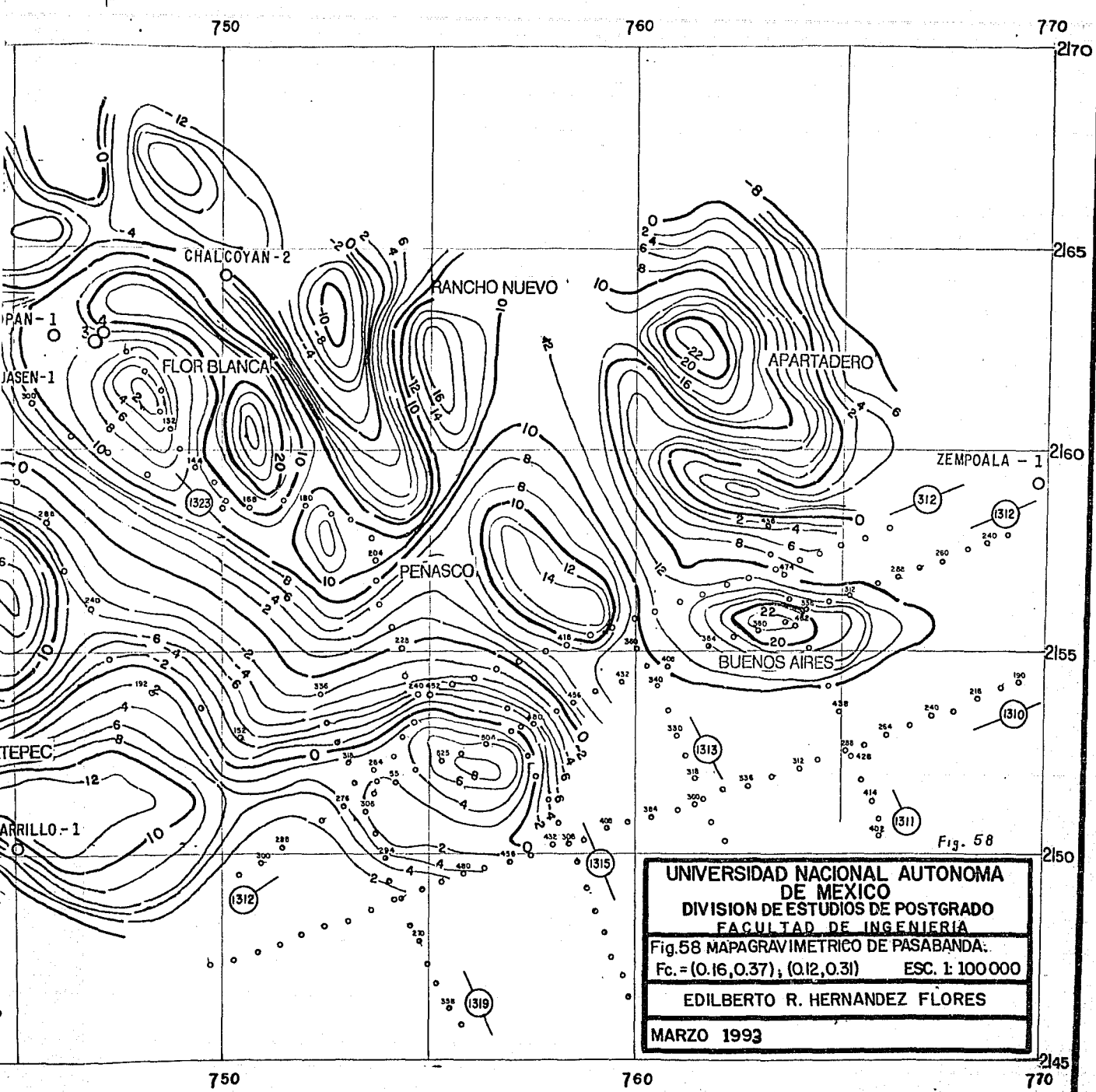


Fig. 58

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

Fig.58 MAPAGRAVIMETRICO DE PASABANDA.

Fc. = (0.16,0.37), (0.12,0.31) ESC. 1:100 000

EDILBERTO R. HERNANDEZ FLORES

MARZO 1993

De acuerdo con los resultados de la perforación de los pozos Jalapa-1 y Chavarrillo-2 y de Geología Superficial, se puede decir que ésta región contiene principalmente rocas del Mesozoico, contenidas en bloques escalonados y separados por fallas inversas.

Si se considera: que la falla inversa (Fig. 50) mapeada en las cercanías del pozo Chavarrillo-2 corresponde al penúltimo bloque cabalgado de las rocas del Mesozoico y que en el pozo Chavarrillo-1 se cortaron 1617 metros de sedimentos del Terciario, entonces es posible que el último bloque, que representa el límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba, se encuentre entre estos pozos.

Por otro lado, el contraste lateral de densidad entre los sedimentos del Terciario con los sedimentos del Mesozoico se manifiesta por un alineamiento de mínimos con dirección NW-SE ubicado al oriente de ésta región, por lo tanto se propone que el límite oriental del frente Tectónico de la plataforma de Córdoba se localiza en la porción occidental de tal alineamiento, coincidiendo con la isoanómala de valor cero (Fig. 58).

La segunda región, consiste de una franja NW-SE limitada al occidente por el límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba y por una línea imaginaria NW a SE que va desde el pozo Blanca Espuma-1, continuando al oriente del pozo Chicuasén-1 y se prolonga hacia el SE.

En ésta región se rescataron siete anomalías: San Andrés, Jalapa, Terrero, Zapateña, Xoltepec, Trapiche y Chicuasén, con amplitudes de 6, 10, 10, 14, 12, 8, y 6 unidades. Las anomalías San Andrés y Jalapa con dirección N-S y W-E respectivamente, Terrero tiene una dirección NW que cambia a SW, en tanto que Zapateña y Xoltepec tienen una dirección NW-SE, Trapiche y Chicuasén tienen dirección N-S.

Una de las conclusiones de la perforación de los pozos en el área de estudio, es que las estructuras anticlinales en superficie, sobre las cuales fueron perforados, no tienen correspondencia con las estructuras en el subsuelo. Lo anterior se evidencia al observar la anomalía Xoltepec, sobre la cuál se perforó el pozo Chavarrillo-1, que de corresponder a una estructura, entonces se deduce que el pozo quedó flanqueado.

La tercera región se encuentra limitada por una línea imaginaria que corre de NW-SE desde el pozo Blanca Espuma-1 pasando al occidente de los pozos Actopan-1, Actopan-3 y Actopan-4, continuando hacia el SE. En ésta región se rescataron cinco anomalías: Flor Blanca, Rancho Nuevo, Peñasco, Buenos Aires y Apartadero con amplitudes de 26, 16, 14, 22 y 22 unidades. Todas ellas con simetría radial siguiendo la forma del Macizo del Plan de las Hayas. Por la ubicación y amplitud de estas anomalías, es posible que estén asociadas a cueros ígneos intrusivos.

La matriz de la Anomalia de Bouguer se convolucionó con tres operadores, obteniendose tres mapas: regional (Fig. 59), pasa-banda (Fig. 60) y de segunda derivada (Fig. 61), graficados a escala 1:100,000 e intervalo de configuración de 2 unidades. En el mapa de anomalia regional se observan también las tres regiones descritas anteriormente.

Todos los operadores de pasa-banda, disponibles en el sistema de proceso fueron probados, siendo el PB4.FIL el que produjo los mejores resultados, la convolución de éste con la matriz de datos rescata menos anomalías que los filtros pasa-banda diseñados. Este resultado era de esperarse ya que el operador de Convolución es insensible a algunas componentes armónicas, lo que no sucede con los filtros diseñados.

De la literatura (Meskó, 1984) se tomó el operador de Elkins de segunda derivada, el cuál se convolucionó con la matriz de datos. Del mapa obtenido, se observan anomalías cuya asociación con el subsuelo es difícil de realizar, esto es debido a que por definición un operador de segunda derivada rescata solo altas frecuencias, relacionadas a efectos superficiales.

De acuerdo a lo anterior, puede decirse que las anomalías rescatadas en la primera región posiblemente son de interés económico-petrolero, ya que se infiere su relación con estructuras conformadas por rocas del Mesozoico, que como se sabe son productoras de aceite al sur del área de estudio.

III.5.b Magnetometría .

En el año de 1980 la Compañía Aeroservice & Litton realizó para Petróleos Mexicanos (PEMEX) levantamientos aeromagnéticos a diferentes alturas de vuelo, para el área de estudio, la altura de vuelo fué de 3000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). En la figura 62 se presenta el mapa de Intensidad Magnética Total a escala 1:200,000 y con un intervalo de configuración de 2 γ .

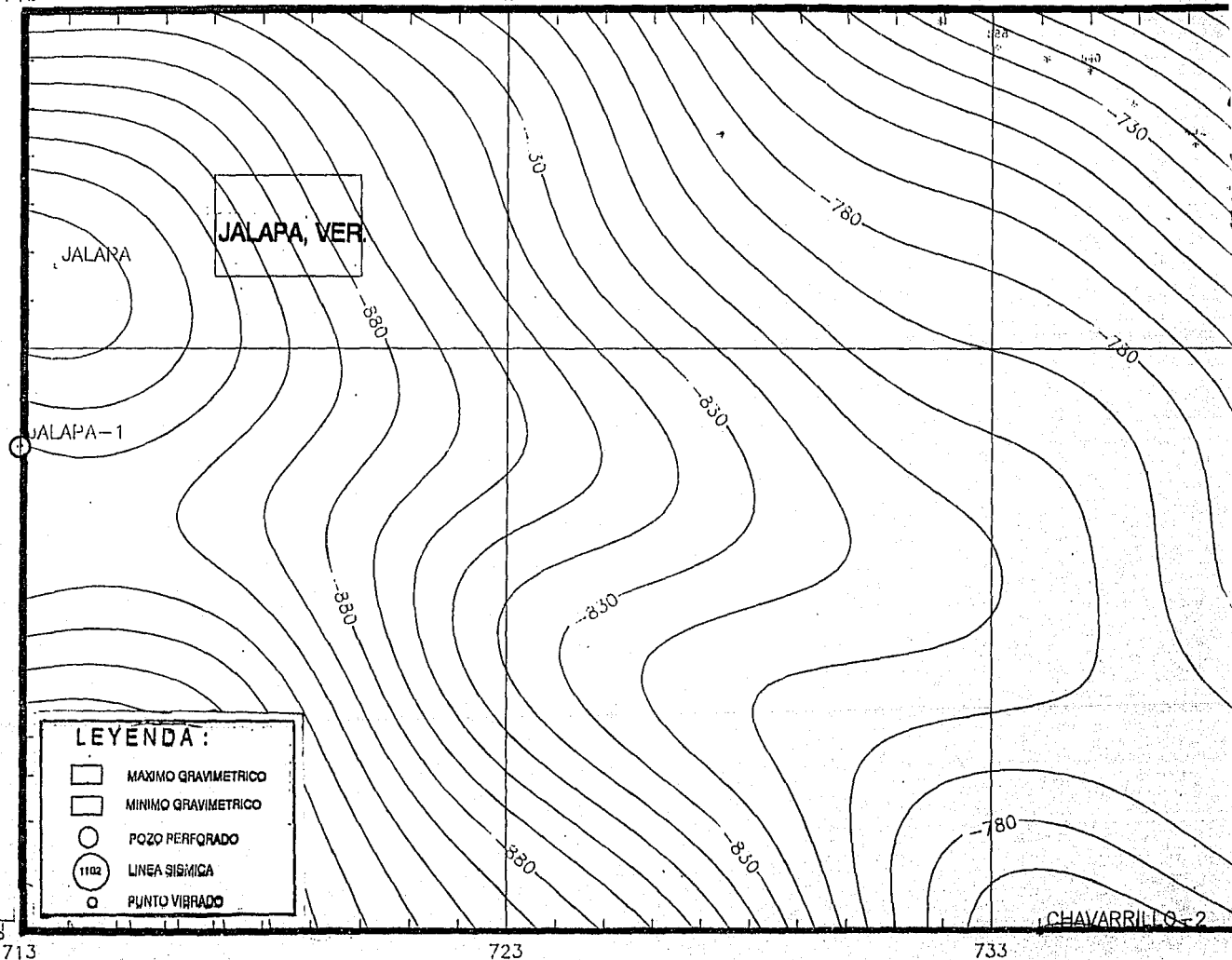
Una interpretación cualitativa del mapa es la siguiente: En general los dipolos presentes tienen una orientación NW-SE. Para la porción occidental del área de estudio y al NW de la Cd. de Jalapa, Ver. se tiene un dipolo magnético cuyos polos positivo y negativo tienen amplitudes de 42794 γ y 42770 γ , cerca de la Cd. de Jalapa se tiene otro dipolo con amplitudes de 42900 γ y 42770 γ ; al sur de la Cd. de Jalapa, Ver. se tiene un polo negativo con una amplitud de 42728 γ , su polo positivo es difícil de reconocer. De acuerdo con la evolución tectónica del occidente del área de estudio, se considera que estos dipolos posiblemente corresponden a derrames volcánicos o bien a ígneos intrusivos.

Para la porción central del área de estudio, se tienen 5 dipolos alineados de NW a SE, formando un sistema, que al correlacionarlo con la Geología Superficial (figuras 49 y 50) se evidencia su fuerte relación con los derrames de andesitas y basaltos mapeados.

713

723

733



2148

713

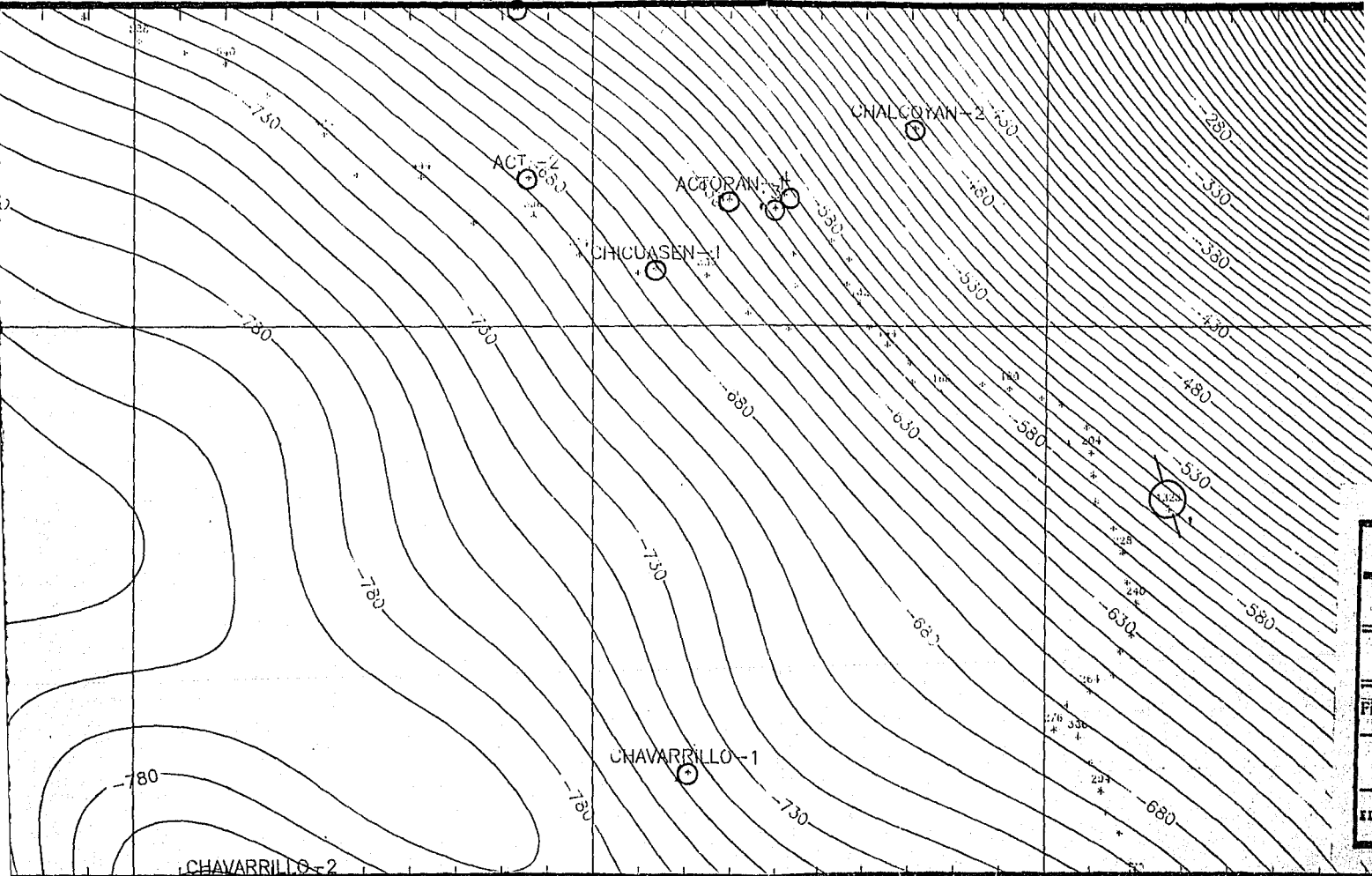
723

733

733

B. ESPUMA--F43

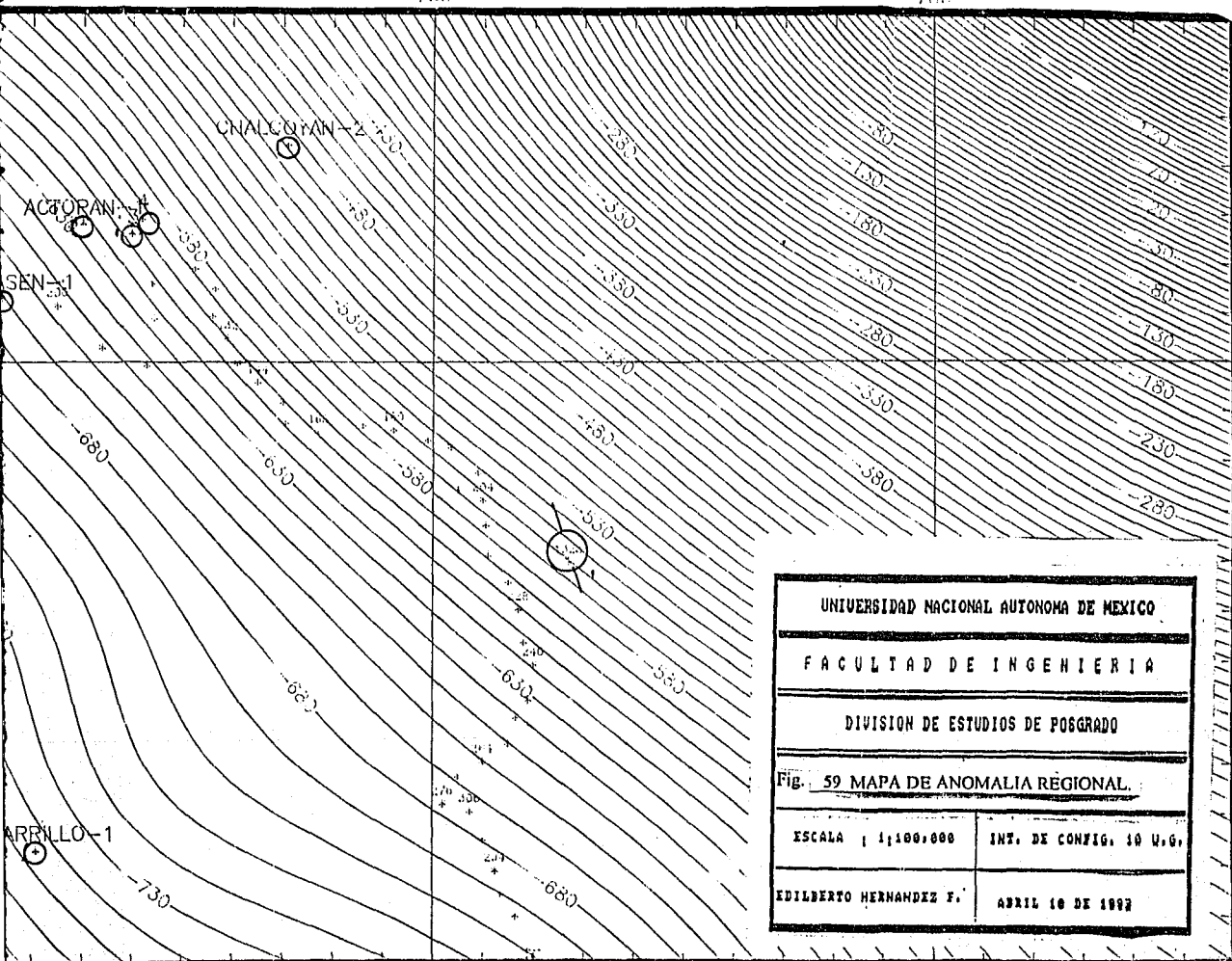
753



733

743

753

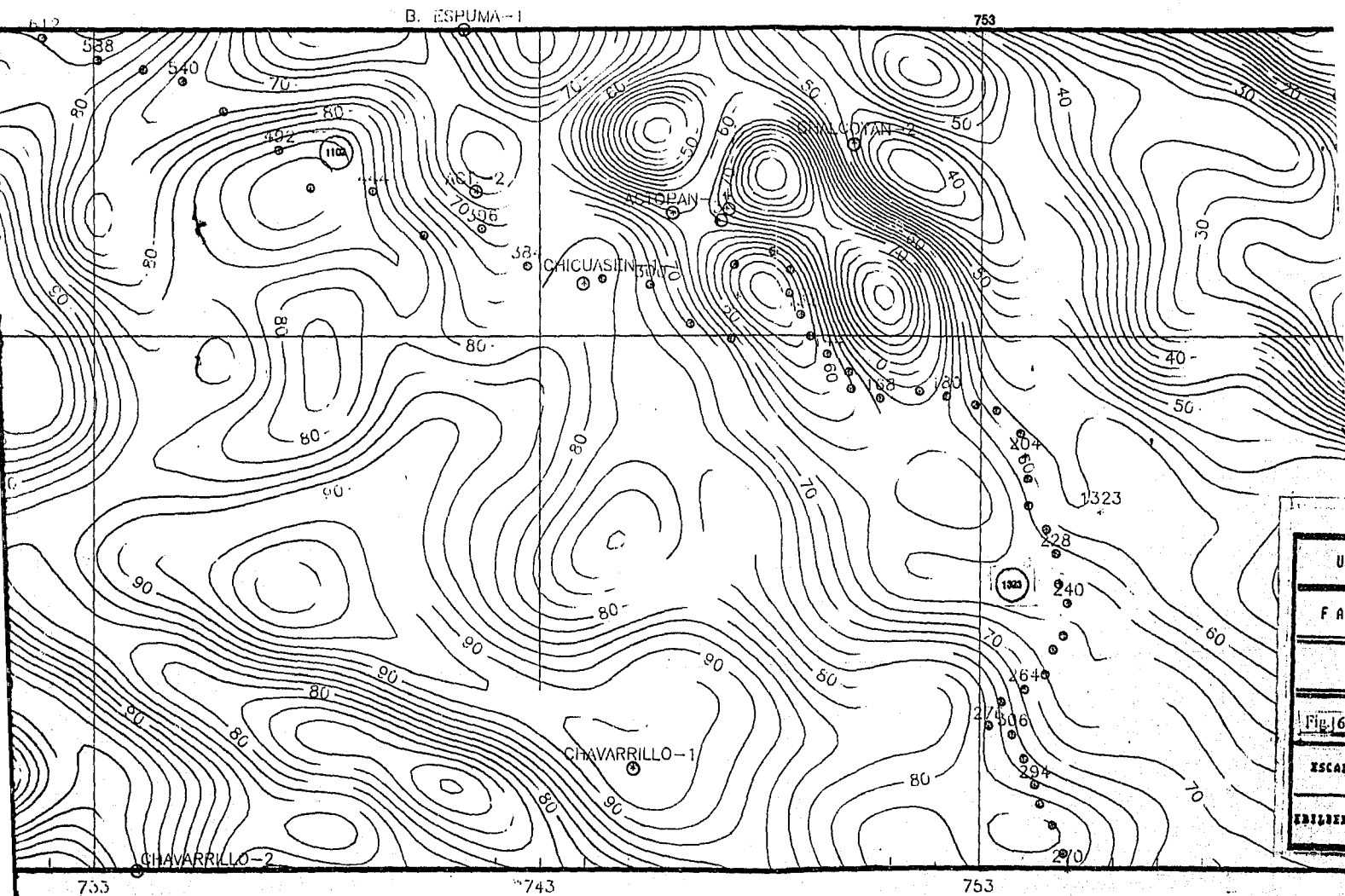


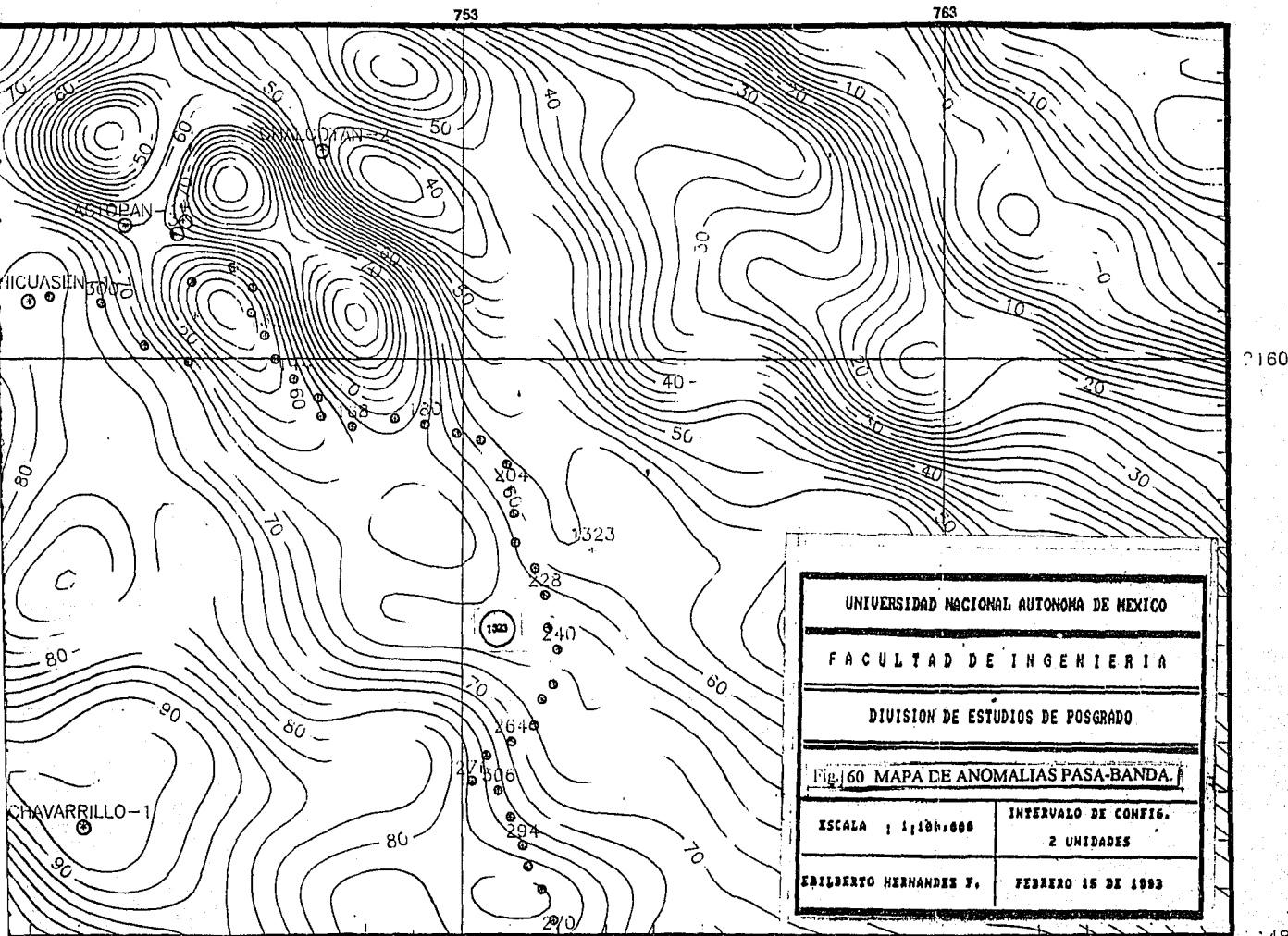
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO	
Fig. 59 MAPA DE ANOMALIA REGIONAL	
ESCALA 1:100,000	INT. DE CONFIG. 10 U.G.
EDILBERTO HERNANDEZ F.	ABRIL 10 DE 1992

2160

2148







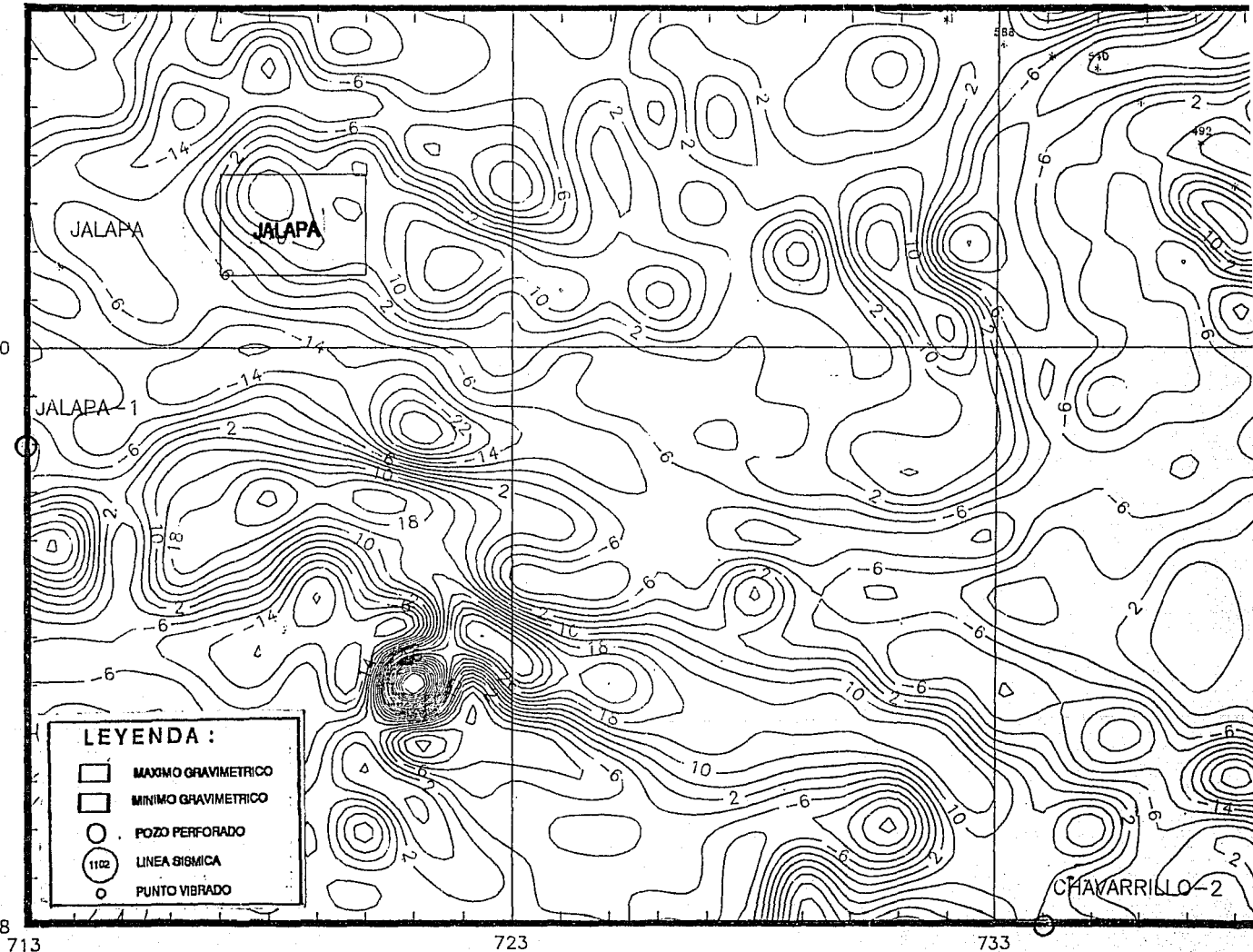
713

723

733

2160

2148



713

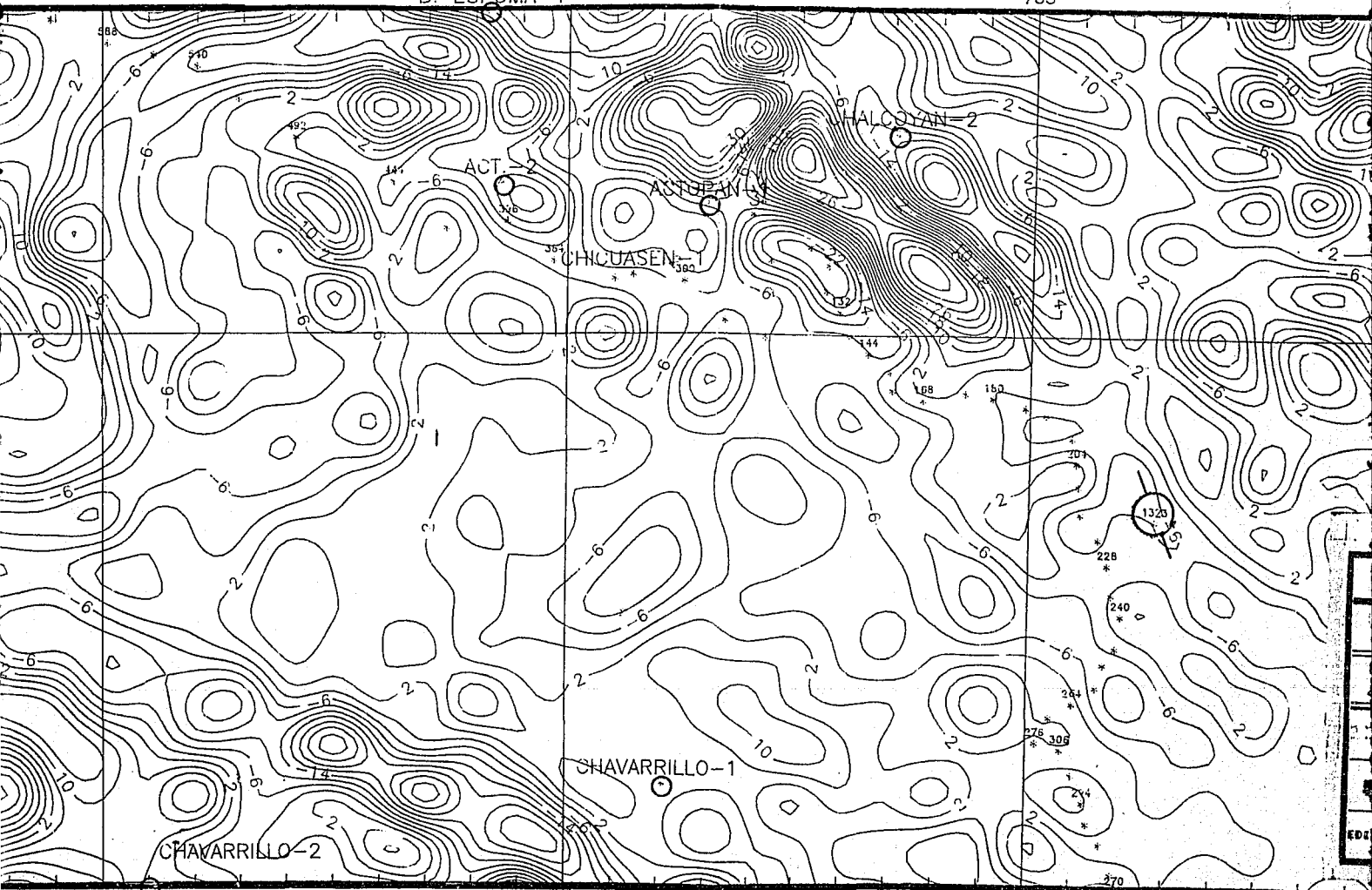
723

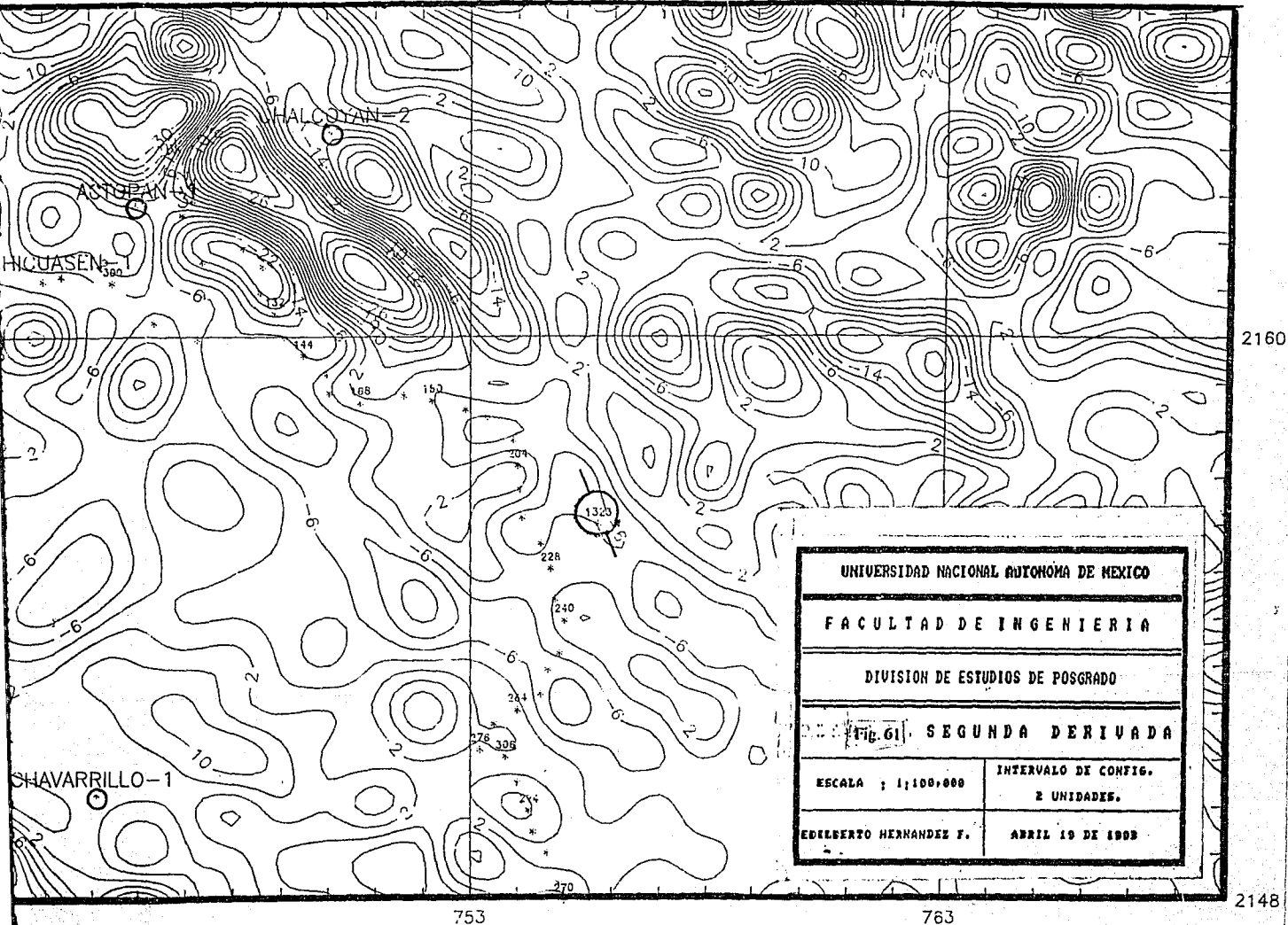
733

733

B. ESPUMA-743

753





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

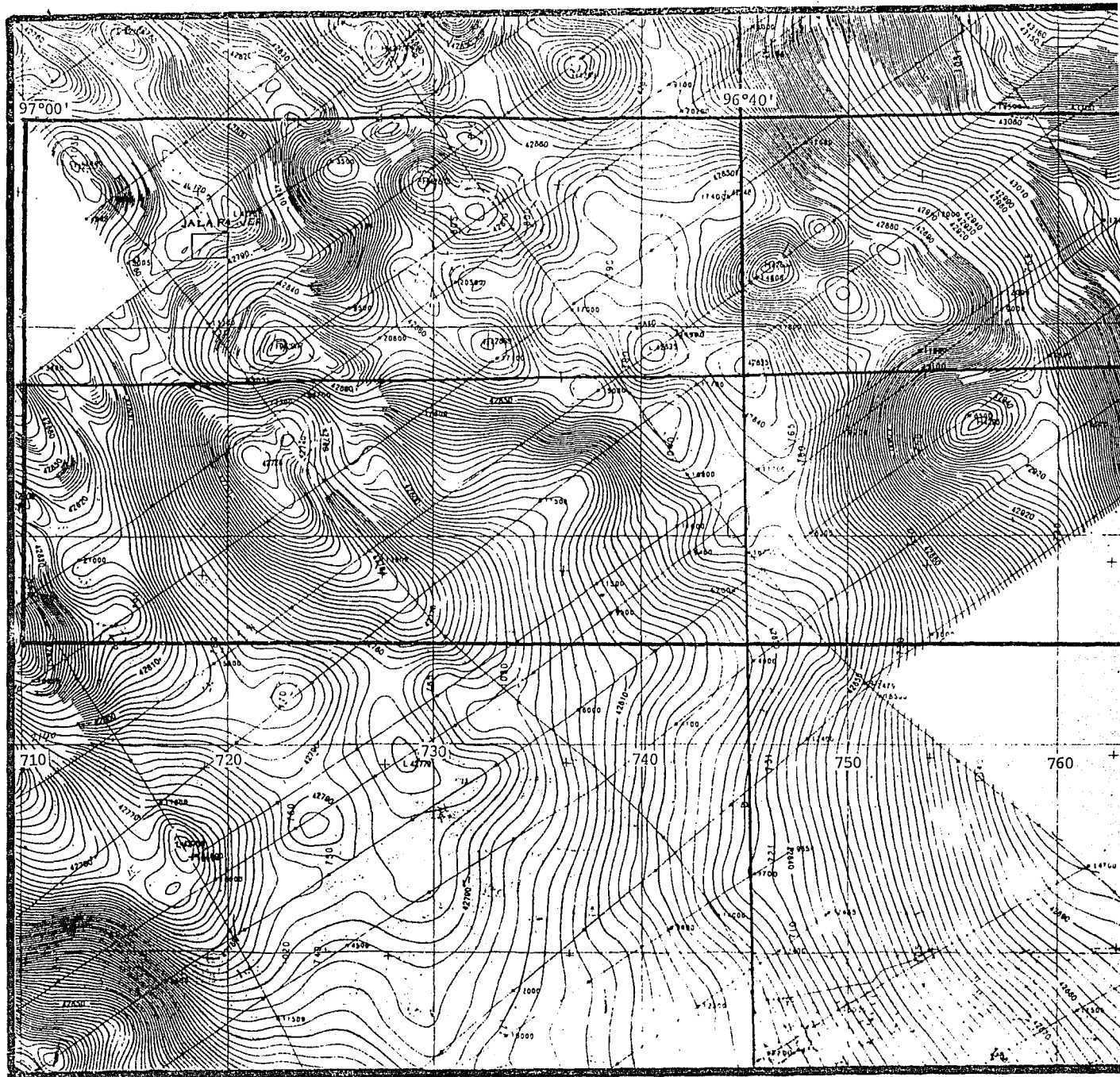
Fig. 61. SEGUNDA DERIVADA

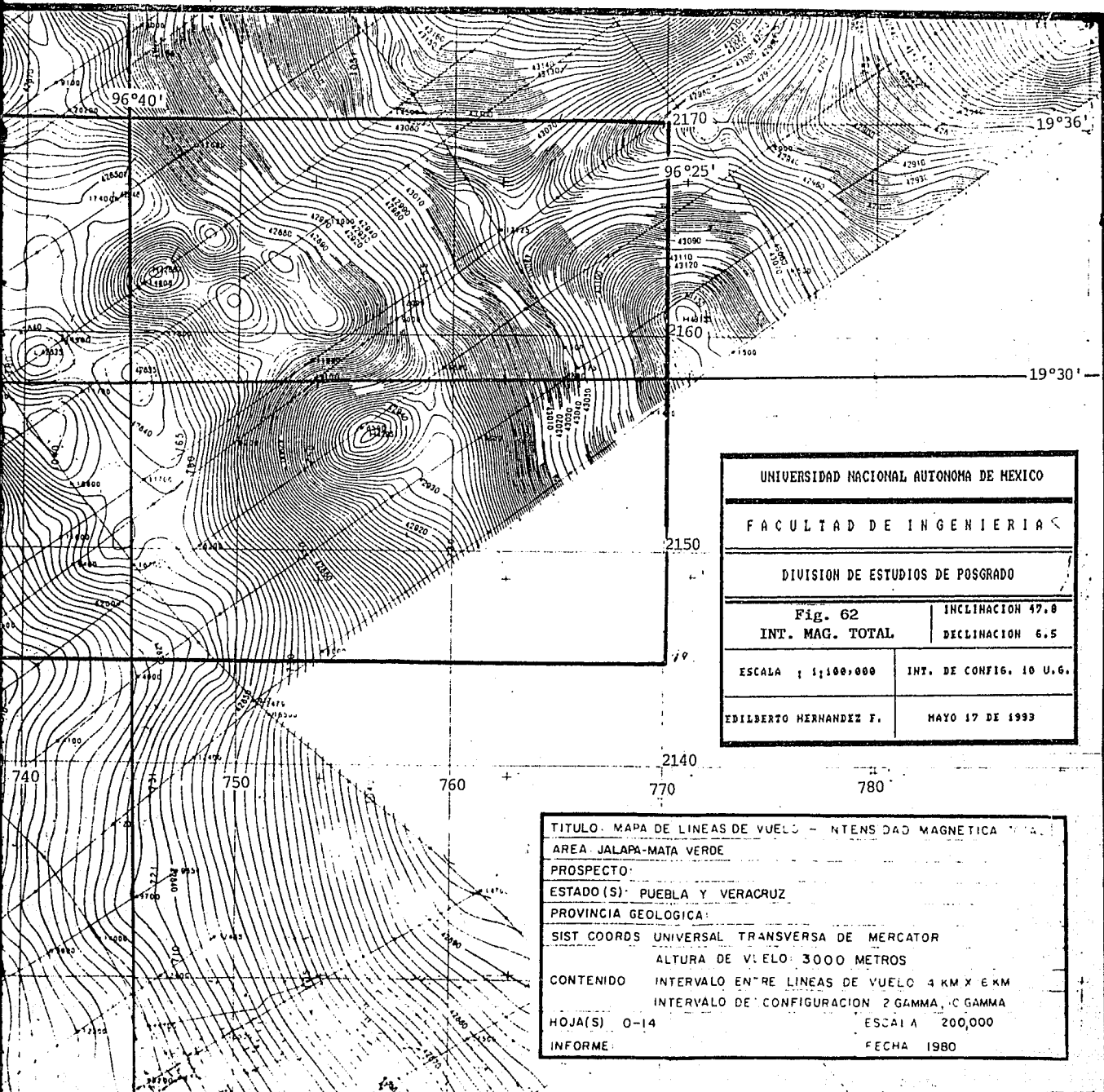
ESCALA : 1:100,000

INTERVALO DE CONFIG.
2 UNIDADES.

EDELBERTO HERNÁNDEZ F.

ABRIL 19 DE 1998





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 62

INCLINACION 47.8

INT. MAG. TOTAL

DECLINACION 6.5

ESCALA : 1:100,000

INT. DE CONFIG. 10 U.G.

EDILBERTO HERNANDEZ F.

MAYO 17 DE 1993

TITULO: MAPA DE LINEAS DE VUELO - INTENSIDAD MAGNETICA

AREA: JALAPA-MATA VERDE

PROSPECTO:

ESTADO(S): PUEBLA Y VERACRUZ

PROVINCIA GEOLOGICA:

SIST. COORDS: UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ALTURA DE VUELO: 3000 METROS

CONTENIDO: INTERVALO ENTRE LINEAS DE VUELO 4 KM X 6 KM

INTERVALO DE CONFIGURACION 2 GAMMA, 0 GAMMA

HOJA(S): 0-14

ESCALA 200,000

INFORME:

FECHA 1980

En la porción oriental, cerca de la Cd. de Actopan Ver., se observan dos dipolos magnéticos con orientación NW-SE y con amplitudes de 42882 γ y 42880 γ para sus polos positivos y 42856 γ y 42868 γ para los negativos; además se tiene un polo positivo con orientación NE-SW con una amplitud de 42950 γ , su polo negativo es difícil de reconocer.

Los tres dipolos pueden estar relacionados a cuerpos ígneos intrusivos, dos de ellos, por su dirección, se pueden considerar contemporáneos en tiempo geológico, el otro por su dirección W-E parece ser contemporáneo al Macizo del Plan de las Hayas, cuyo efecto es ya evidente en esta porción del área de estudio.

Ya que solo se tienen mapas de Intensidad Magnética Total a escala 1:200,000 (Fig. 62) y no 1:50,000 para ser discretizados a mano, fué necesario digitalizar en el Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.) la región de interés, el archivo generado se hace compatible al sistema de proceso en una de las opciones del menu de graficación (tan solo debe de ser cambiada la extensión FIL a BMY).

Para el proceso de los datos de Magnetometría se generaron dos matrices de 32x32 elementos, las cuales corresponden a las porciones occidental y oriental del área estudiada. Todos los mapas obtenidos se graficaron a una escala de 1:100,000 y con un intervalo de configuración de 2 γ , la inclinación y declinación magnética son de 47.8° y 6.5° respectivamente.

En las figuras 63 y 64 se muestran los mapas de Intensidad Magnética Total del área de estudio.

Con el objeto de reconocer de mejor manera los polos magnéticos asociados, se realizó el filtrado residual de los mapas de las figuras 63 y 64, el análisis espectral de los perfiles magnéticos, permitió seleccionar ciertas frecuencias de corte, que después de varias iteraciones, resultó que la mejor presentación es la obtenida con un filtro residual con frecuencia de corte de 0.1 ciclos/km..

En las figuras 65 y 66 se presentan los mapas de Anomalía Residual; en la primera se observa al sur de la Cd. de Jalapa Ver., un dipolo cuyo máximo se encuentra al SW del mínimo; lo mismo sucede con el dipolo de la Cd. de Jalapa Ver. cuyo mínimo se ubica al NE. En la figura 66 se puede asociar de mejor manera los polos magnéticos a sus dipolos correspondientes, lo cuál es importante, ya que, si estos están asociados a cuerpos ígneos intrusivos, como se ha propuesto, entonces con esta presentación se tiene una mejor idea de la distribución areal de los posibles cuerpos.

En las figuras 67 y 68 se presenta los mapas de continuación analítica ascendente del vector de Intensidad Magnética Total a 2000 m.s.n.m.

710

720

2160

JALAPA

2150

JALAPA-1

2145

710

720

LEYENDA :

□ MAXIMO MAGN

□ MINIMO MAGN

○ POZO PERFOR

1102 LINEA SISMI

○ PUNTO VIBRA

JALAPA

LEYENDA :

- MAXIMO MAGNETICO
- MINIMO MAGNETICO
- POZO PERFORADO
- 1102 LINEA SISMICA
- PUNTO VIBRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

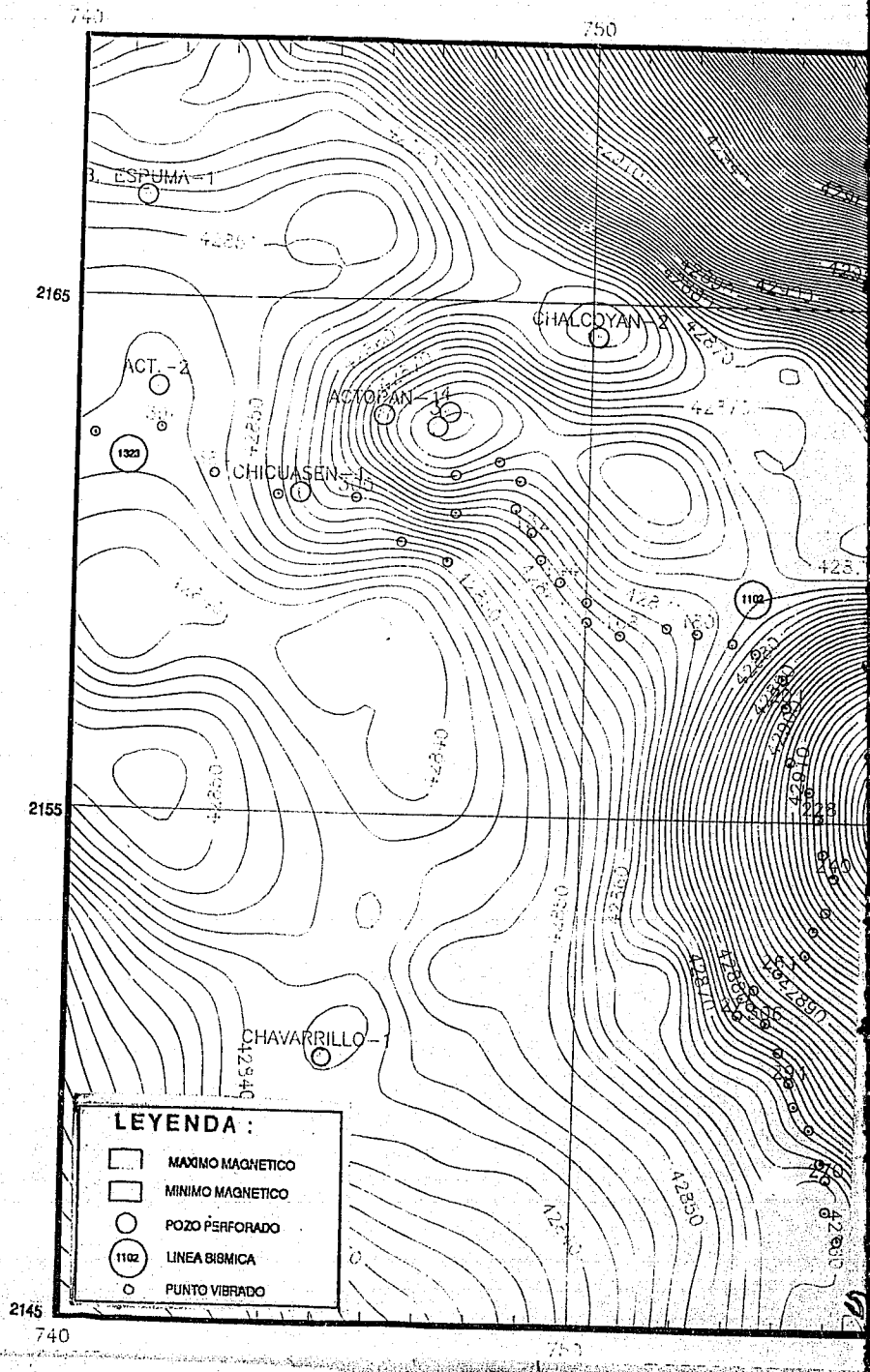
Fig. 63 INT. MAG. TOTAL INCLINACION 49.8
[PORCION OCC.] DECLINACION 6.5

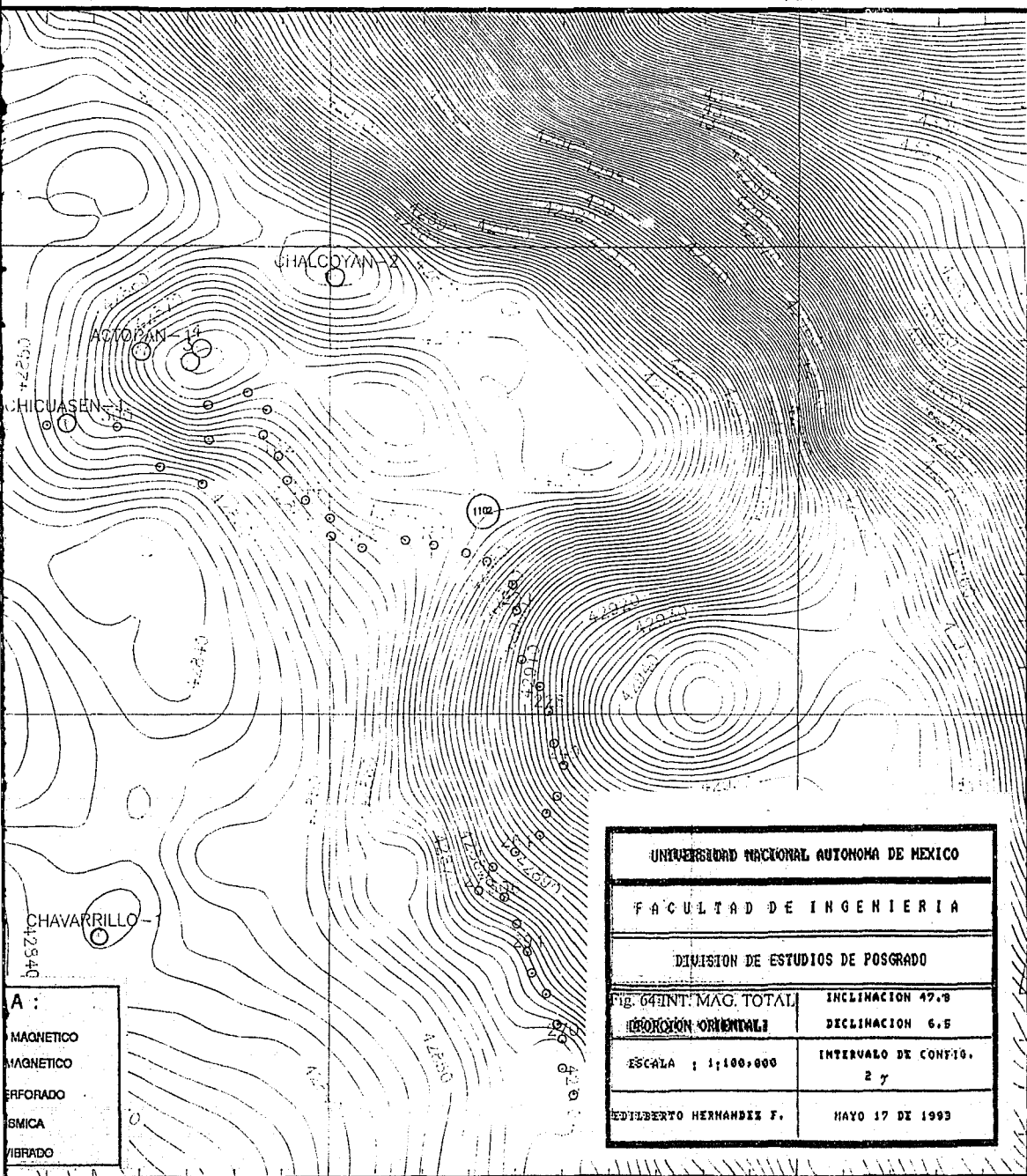
ESCALA : 1:100,000

INT. DE CONFIG. 2 y

EDILBERTO HERNANDEZ F.

MAYO 17 DE 1993





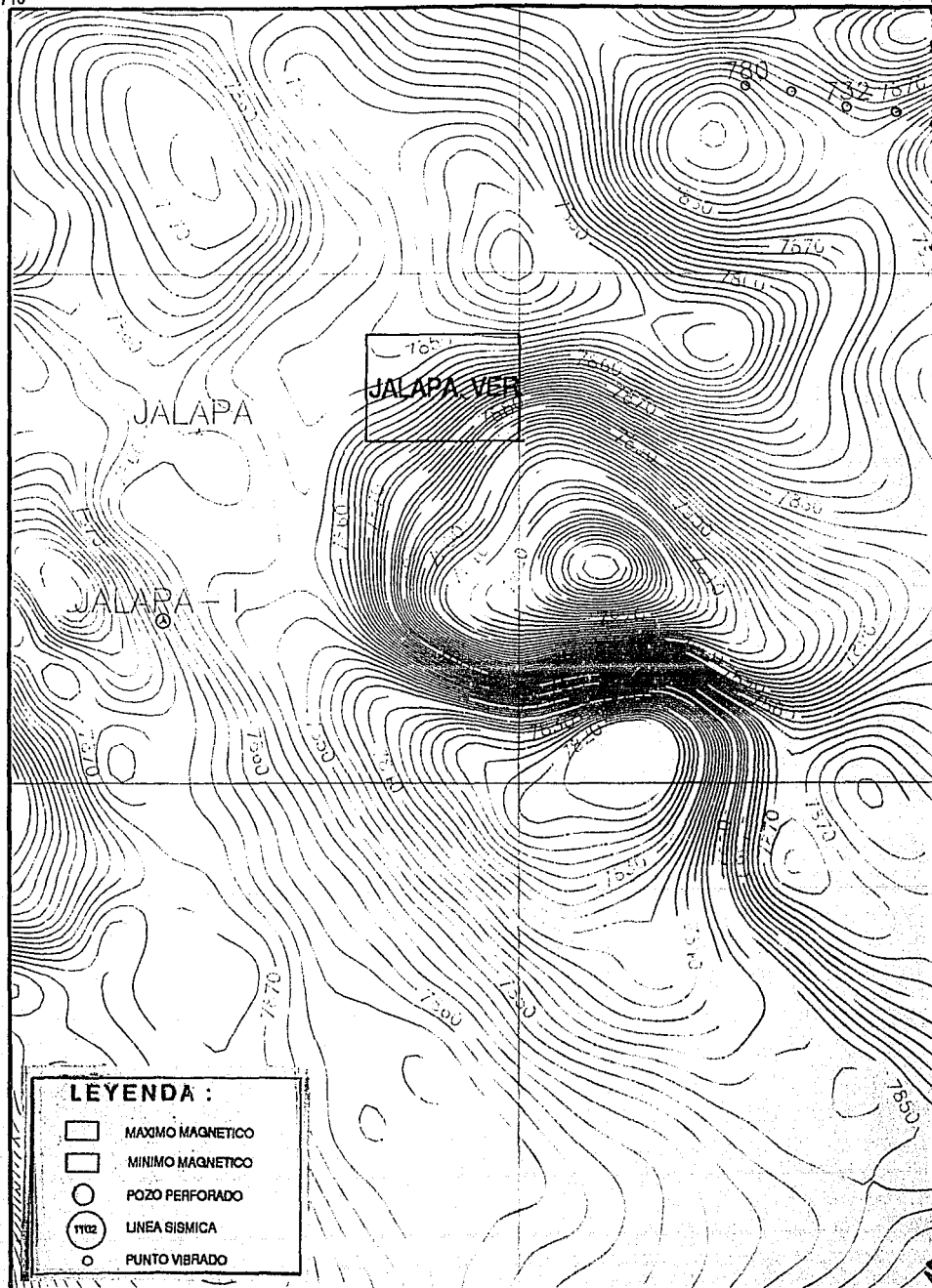
710

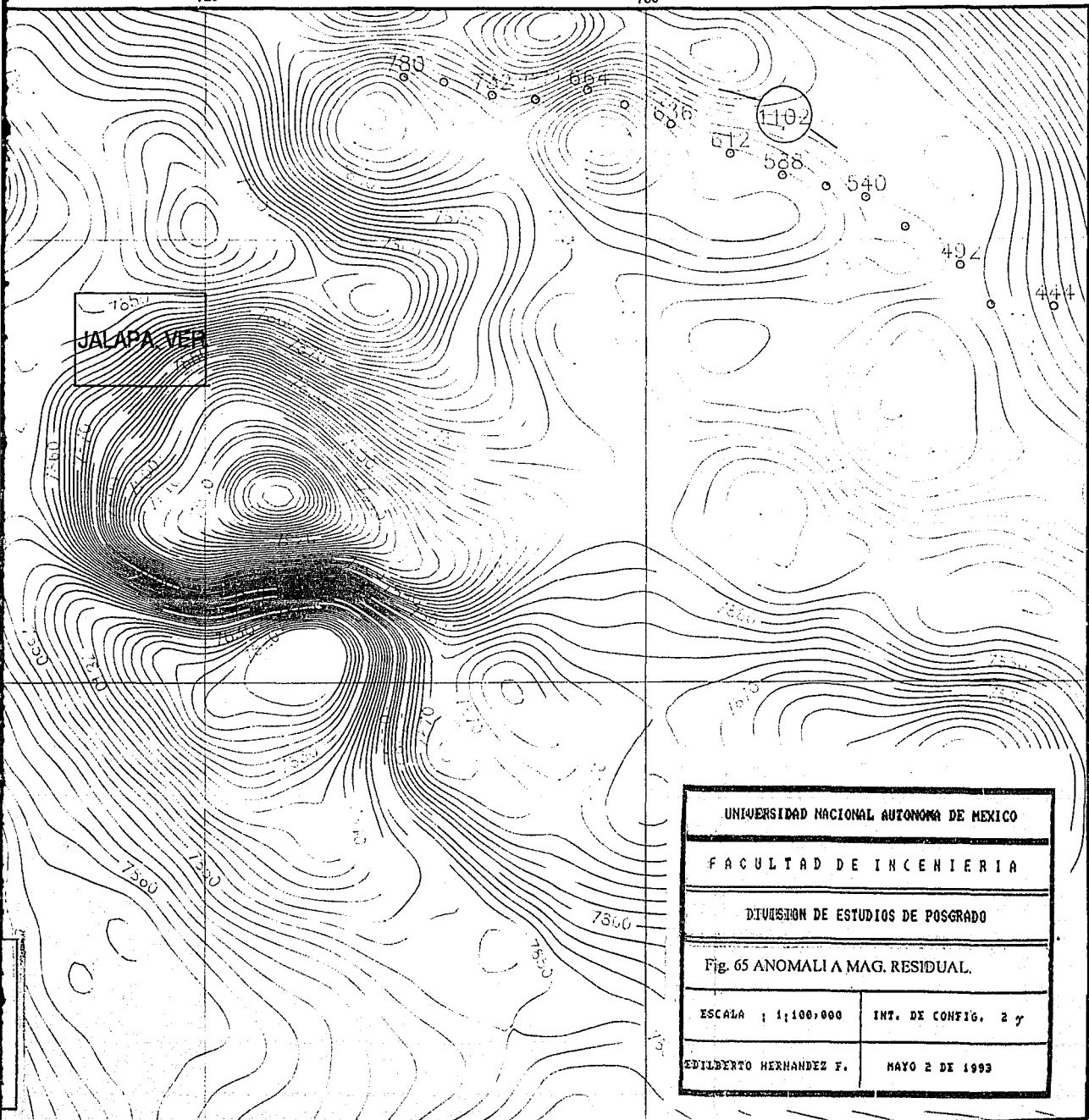
720

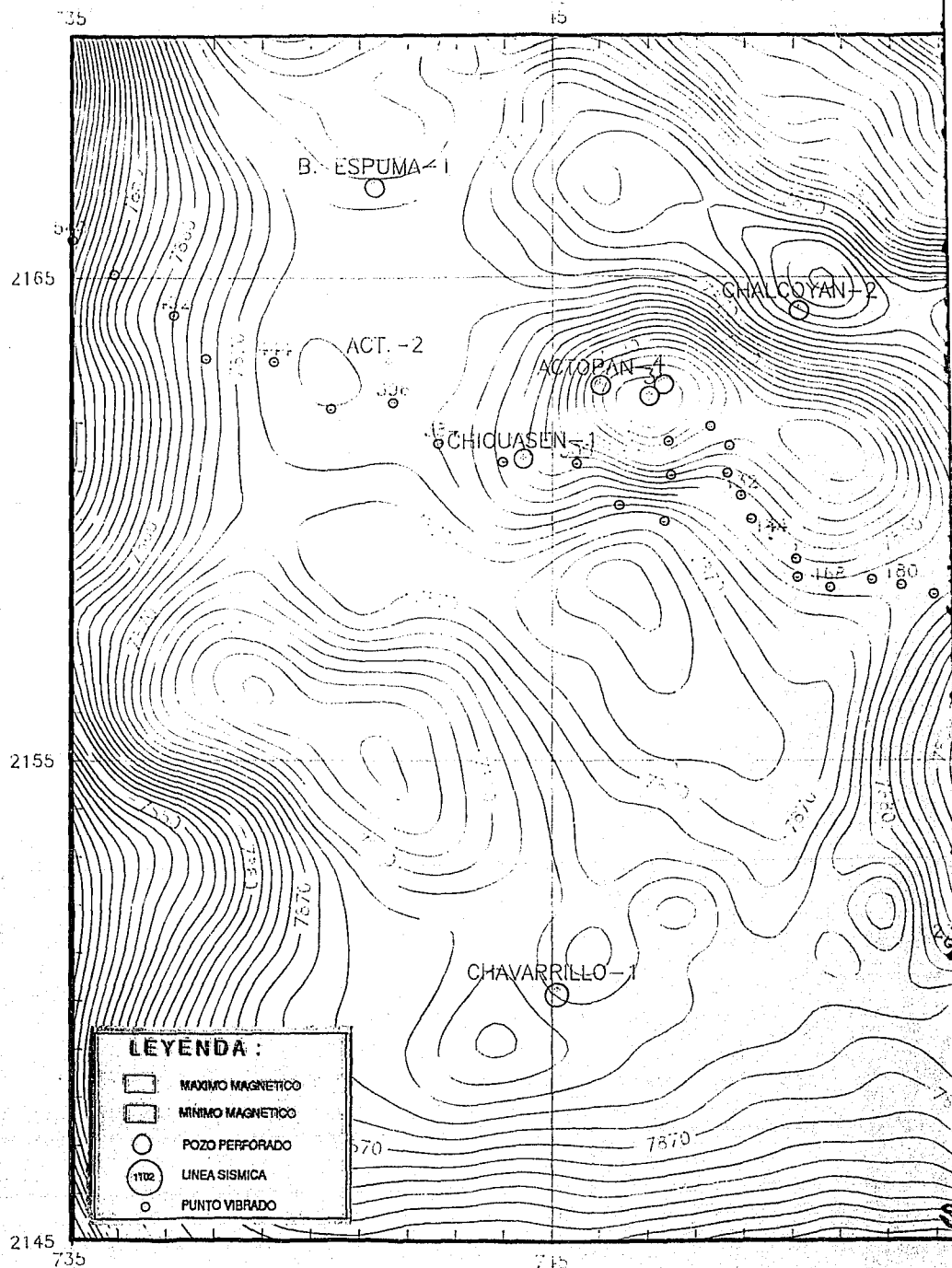
2165

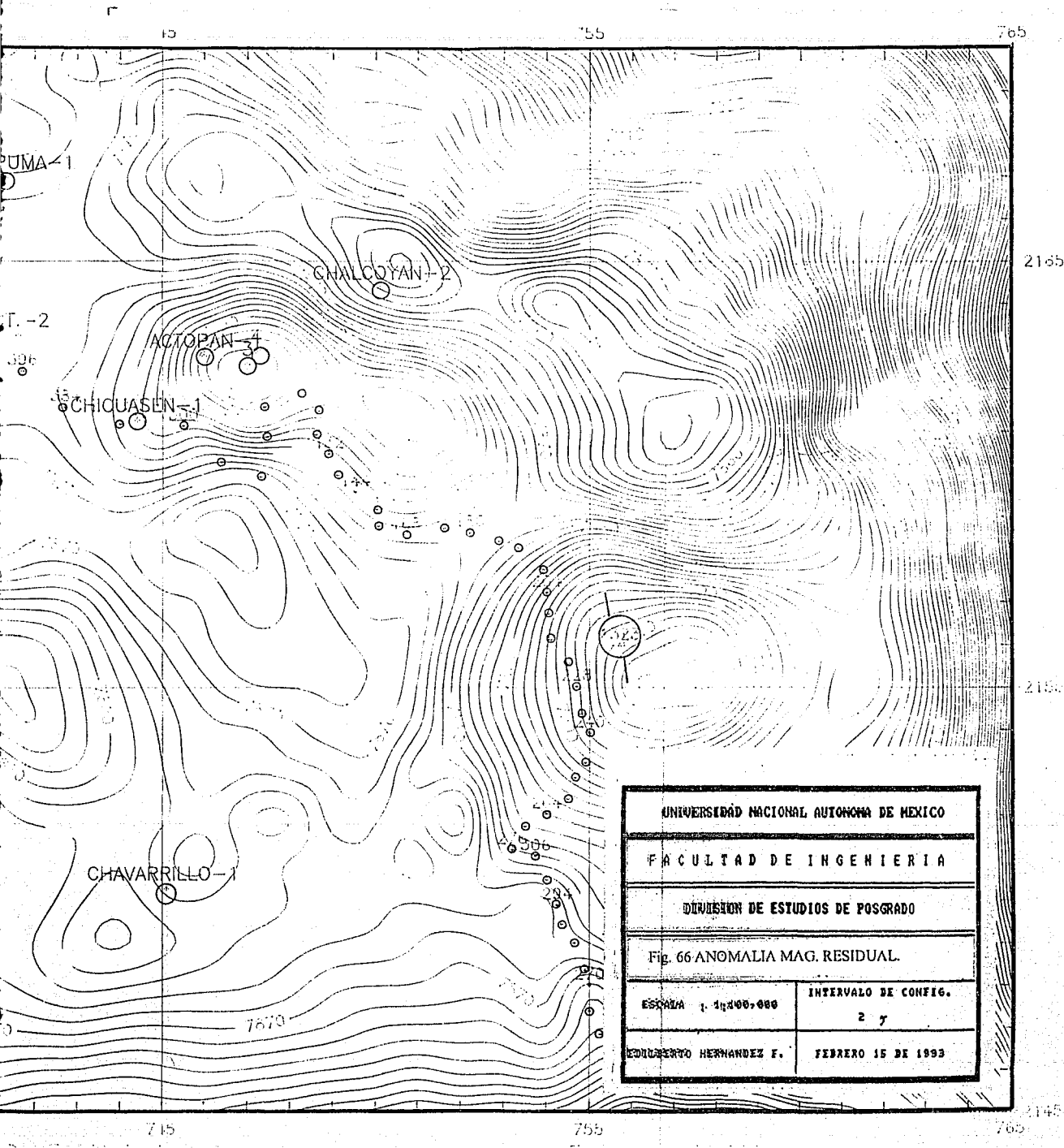
2155

2145









UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 66 ANOMALIA MAG. RESIDUAL.

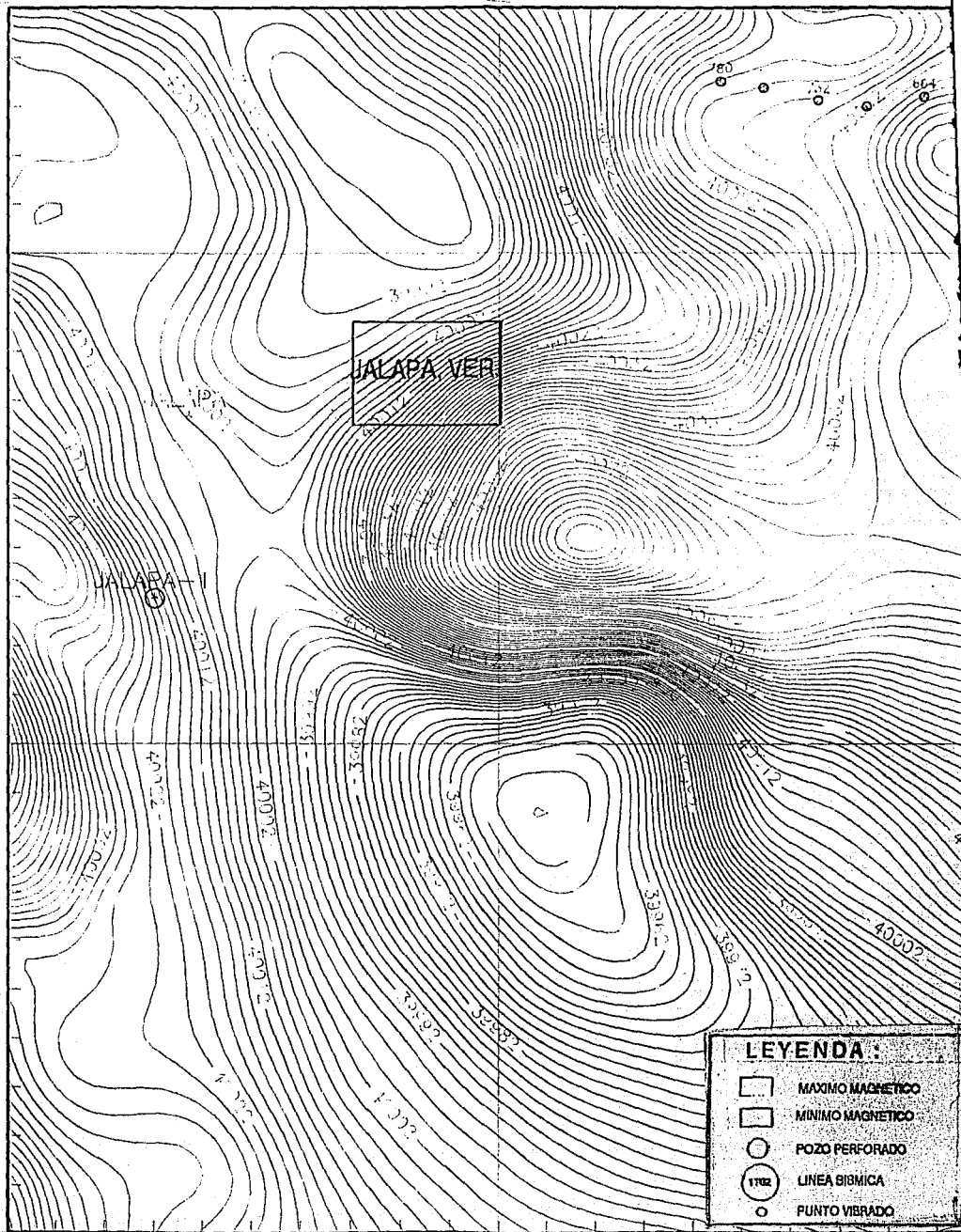
ESCALA 1:1,000,000

INTERVALO DE CONFIG.

2 y

EDUARDO HERNANDEZ F.

FEBRERO 15 DE 1993



JALAPA, VER.

2165

2155

2145

LEYENDA:

- ☐ MAXIMO MAGNETICO
- ☐ MINIMO MAGNETICO
- ☐ POZO PERFORADO
- ☐ LINEA ISOMICA
- ☐ PUNTO VIBRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 67 CONT. ANAL. ASCENDENTE

ESCALA: 1:100,000

TIPO DE CONFIG.

2 y

EDUARDO HERNANDEZ J.

ABRIL 19 DE 1993

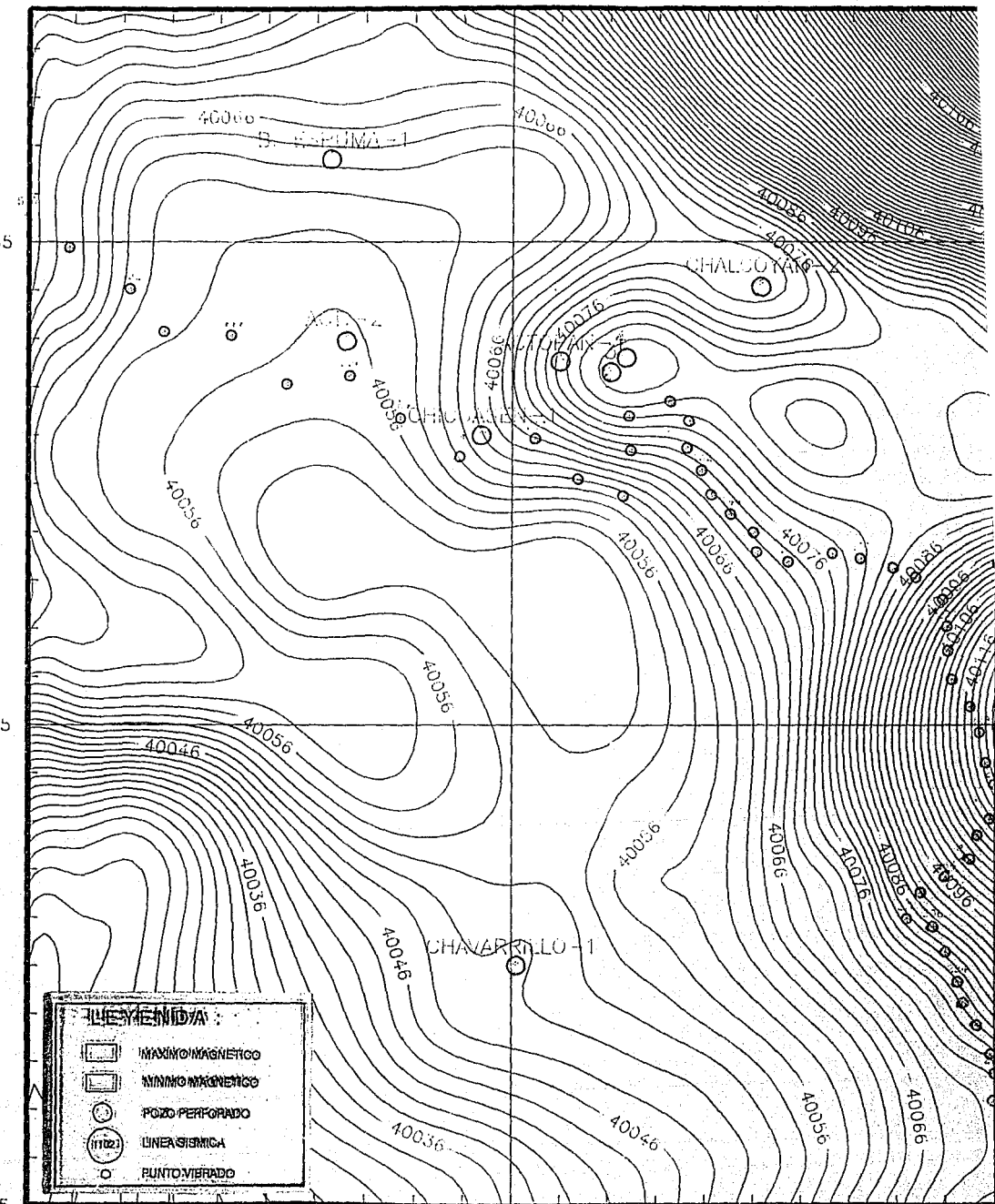
735

745

2165

2155

2145



745

735

INTERVALO DE CONFIGURACION 2 GAMMAS

ESCALA

En las figuras 69 y 70, se presentan los mapas de continuación analítica descendente a 5000 m.s.n.m..

Aunque la reducción al polo podría haberse realizado al vector de intensidad magnética total (3000 mn.s.n.m.) o bien a la anomalía residual que supuestamente presenta la mejor forma de los dipolos, se decidió efectuar el proceso de reducción al polo (figuras 71 y 72) a la continuación analítica ascendente (5000 m.s.n.m.) considerando que ésta se encuentra libre de los efectos superficiales de las andesitas y basaltos, de tal manera que el proceso resultante determina la posición exacta de los cuerpos igneos intrusivos.

En la figura 71, se observan dos máximos, el primero se encuentra entre los puntos vibrados del 664 al 588 de la sección sismológica y tiene correspondencia con los derrames de basalto mapeados (Fig. 50), el segundo se ubica al oriente de la Cd. de Jalapa, Ver. y parece corresponder a un ígneo intrusivo, además al sur de la misma ciudad se observa un dipolo bien definido que sugiere la presencia de un cuerpo magnetizado, aunque por su amplitud posiblemente corresponda a un ígneo intrusivo.

En la figura 72 se observan dos máximos posiblemente asociados a cuerpos que sugieren la presencia de ígneos intrusivos, uno en las cercanías del pozo Actopan-4 y el otro al SE del pozo Chalcocyan-2.

III.5.c. Sismología .

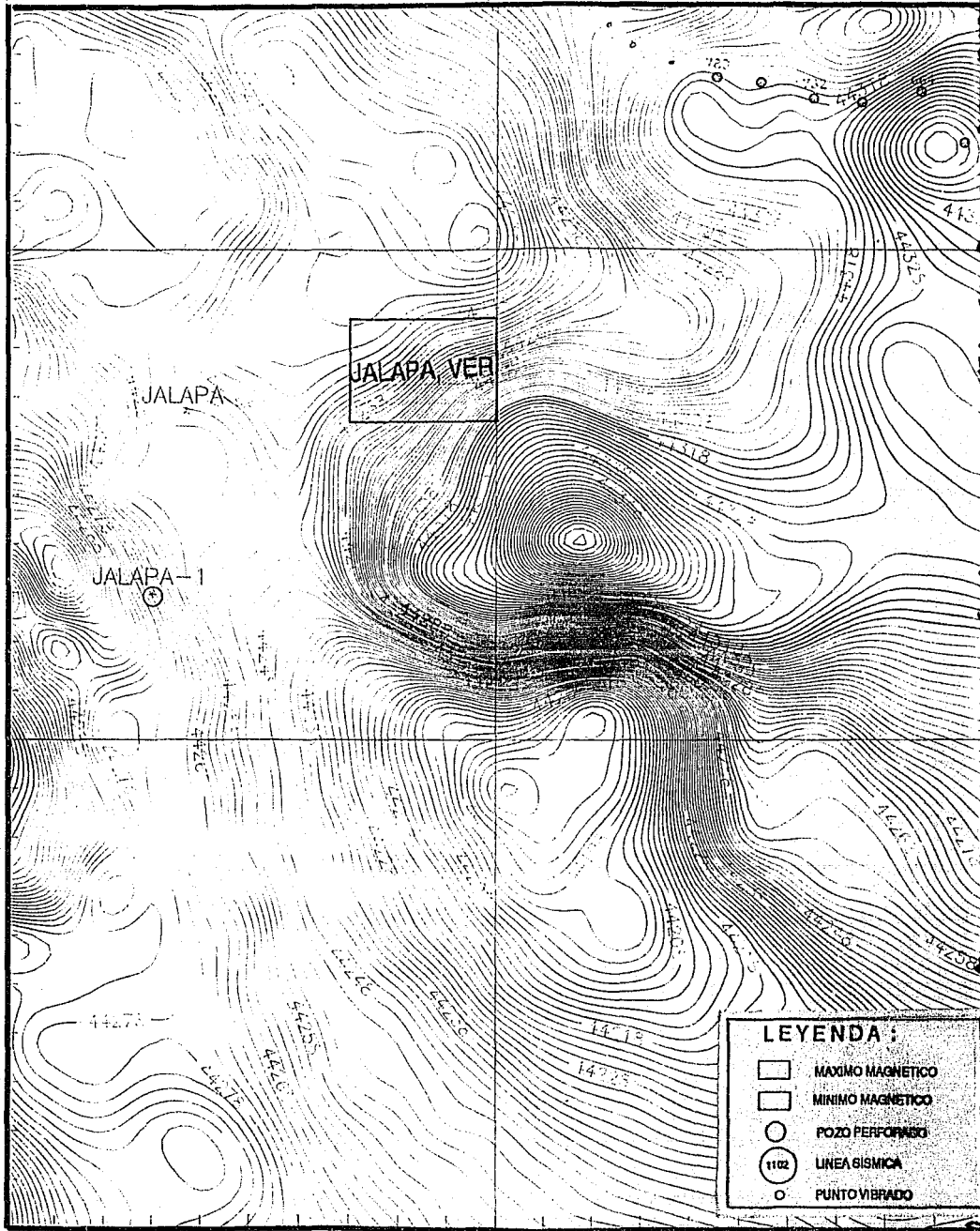
En el año de 1980 la Compañía Geophysical Service Inc. realizó para Petróleos Mexicanos un estudio sismológico experimental, que se denominó Prospecto Actopan, utilizando como energía acústica vibradores mecánicos, el levantamiento se realizó sobre carreteras, caminos y brechas existentes. De las secciones sismológicas obtenidas, solo se han escogido las de mejor calidad: la 1102 y la 1323, sus puntos vibrados (P.V.) están representados con círculos pequeños asignándole un número cada 24 o cada 48 (P.V.). De ésta manera se han dibujado en todos los mapas de datos procesados.

Para la interpretación de las secciones sismológicas, se consideró la información: Geológica, en particular los Informes de perforación de los pozos Chicuasén-1, Actopan-2, Actopan-3 y Actopan-4, los tres primeros se proyectaron a la sección sísmica 1102. Sus columnas sedimentarias se convirtieron a tiempos de reflexión con la ley de velocidades del pozo Jalapa-1, una vez obtenida la sección cima geológica=horizonte sismológico, se procedió a propagar los horizontes en las dos secciones. Los horizontes sismológicos interpretados en las secciones sísmicas 1102 y 1323 corresponden a las cimas del Paleoceno, Cretácico Superior, Cretácico Medio, Cretácico Inferior, Jurásico Superior, Jurásico Medio y Basamento.

2165

2155

2145



ALAPA VER

LEYENDA:

- MAXIMO MAGNETICO
- MINIMO MAGNETICO
- POZO PERFORADO
- 1102 LINEA SISMICA
- PUNTO VIBRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 69 CONT. ANAL. DESCENDENTE.

ESCALA 1:100,000

INCL. DE CONF. 2 y

EDUARDO HERNANDEZ F.

MAYO 17 DE 1988

735

745

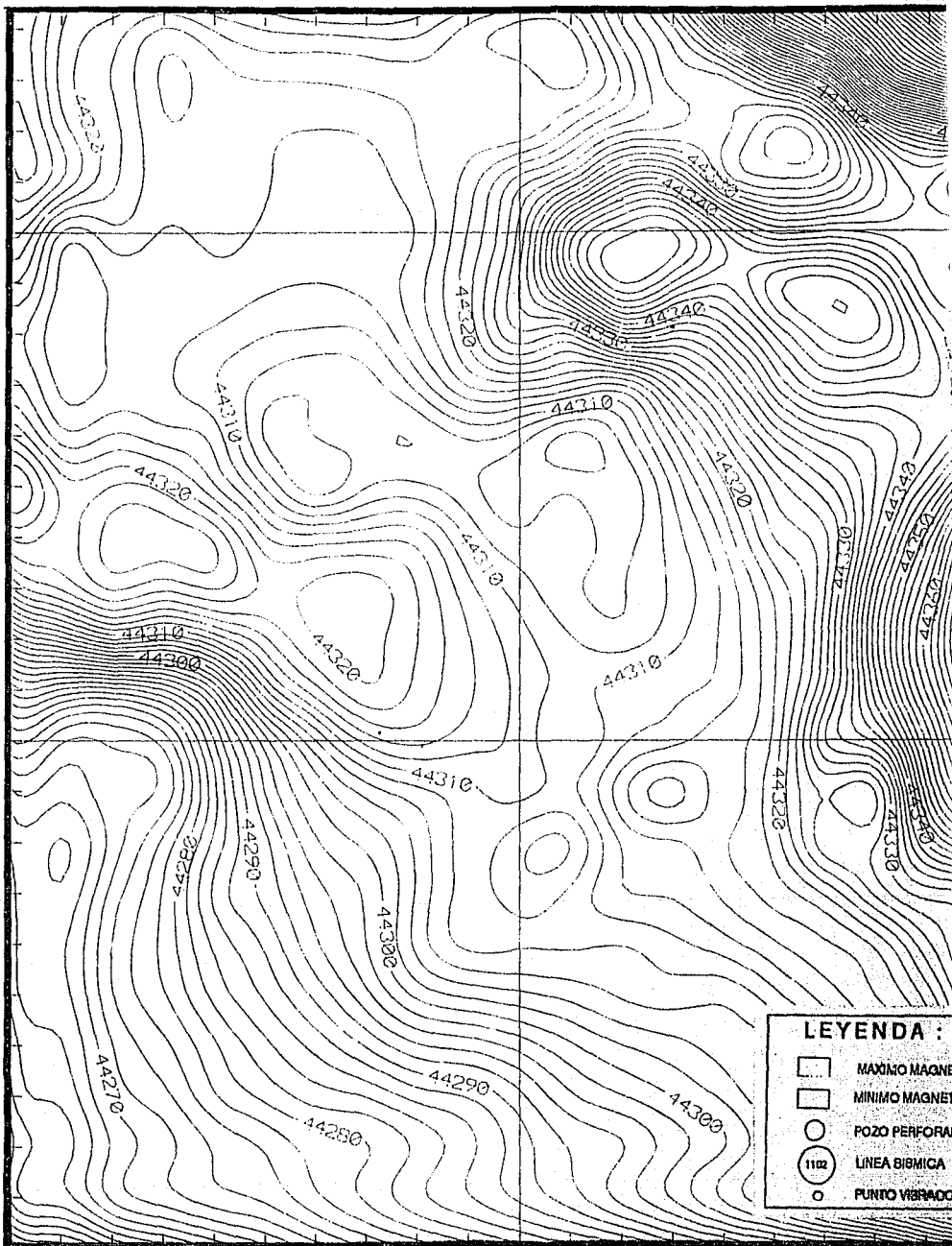
2165

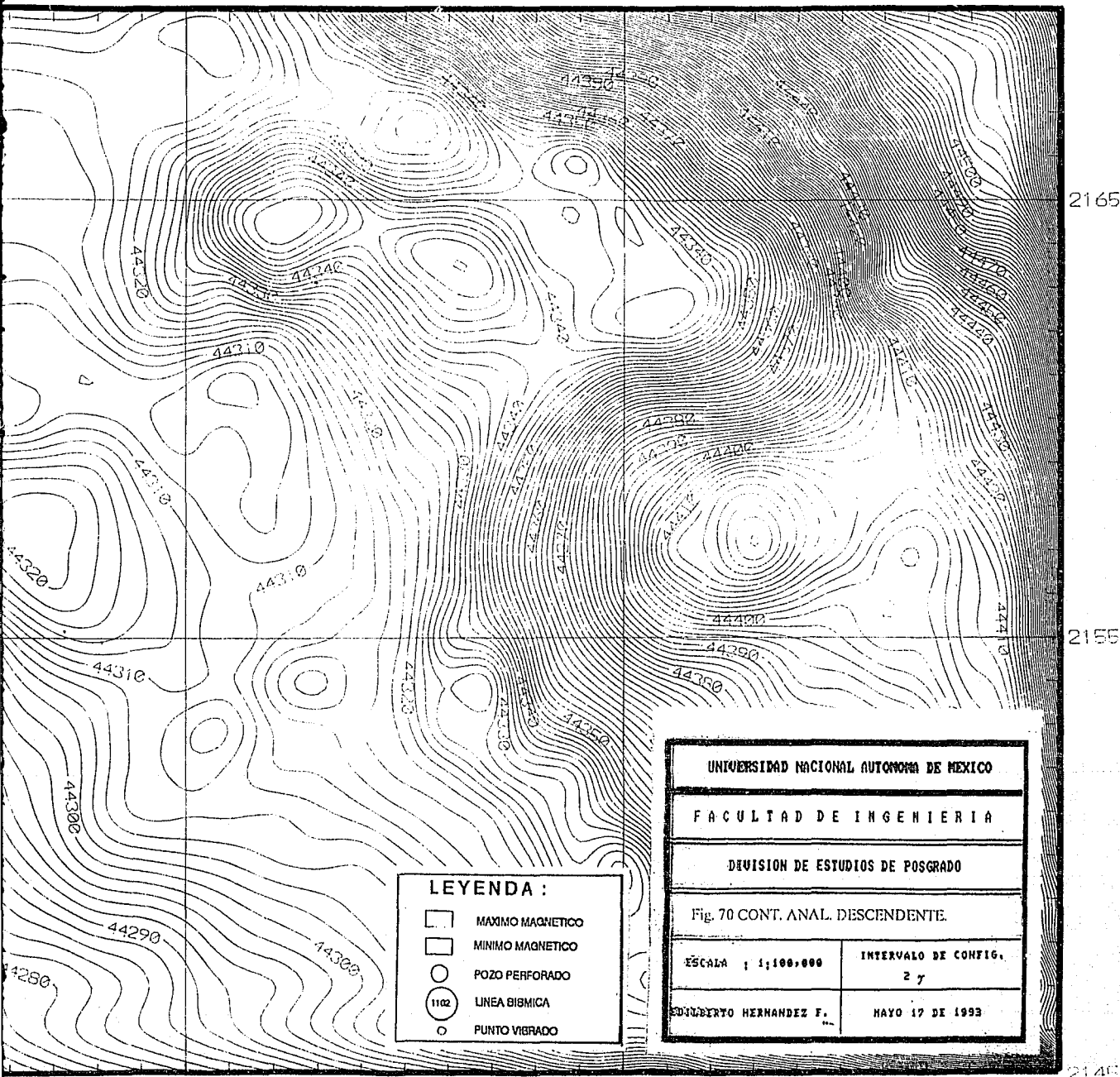
2155

2145

735

745





710

720

2165

JALAPA

JALAPA, VER

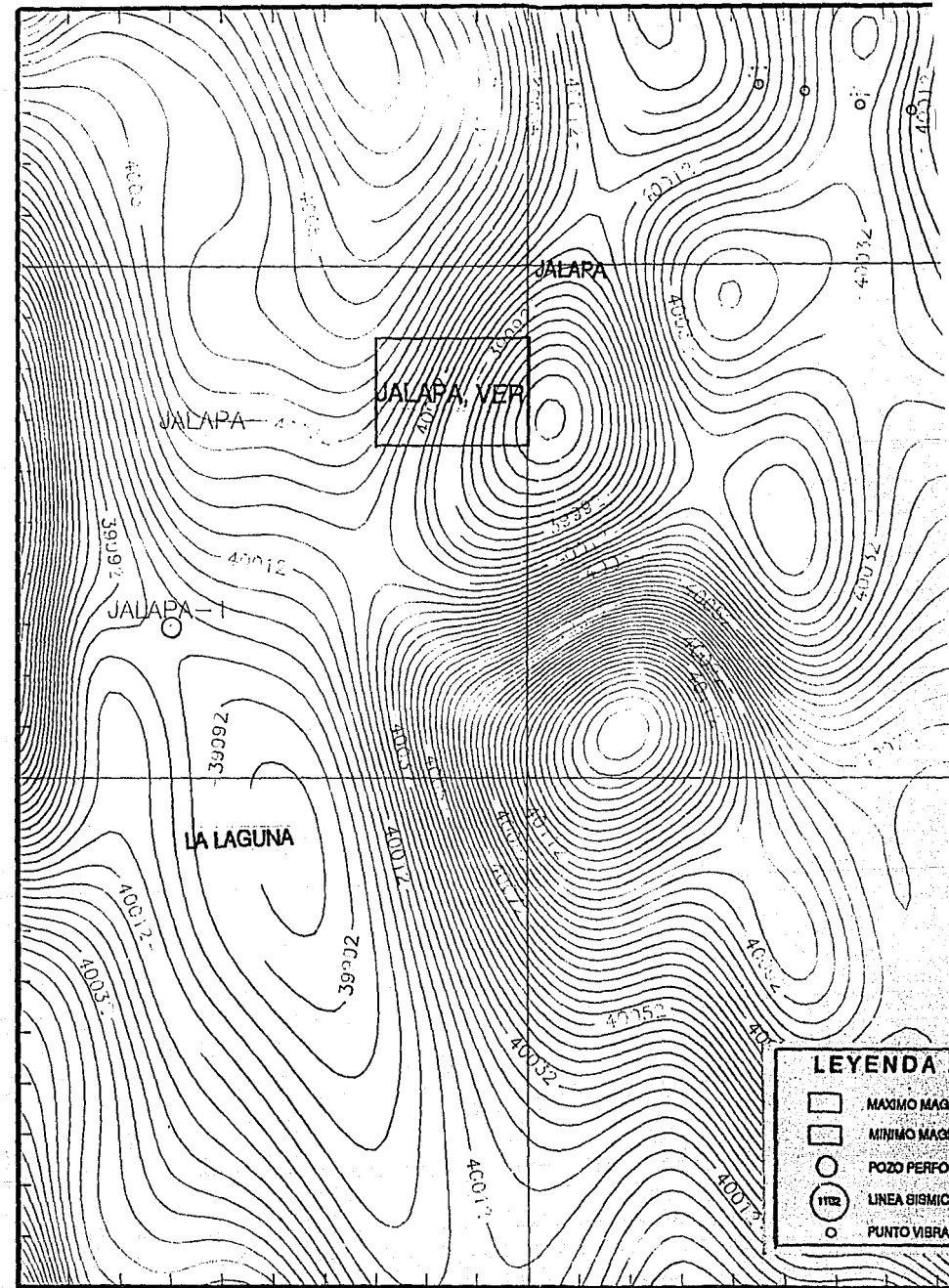
JALAPA

JALAPA-1

2155

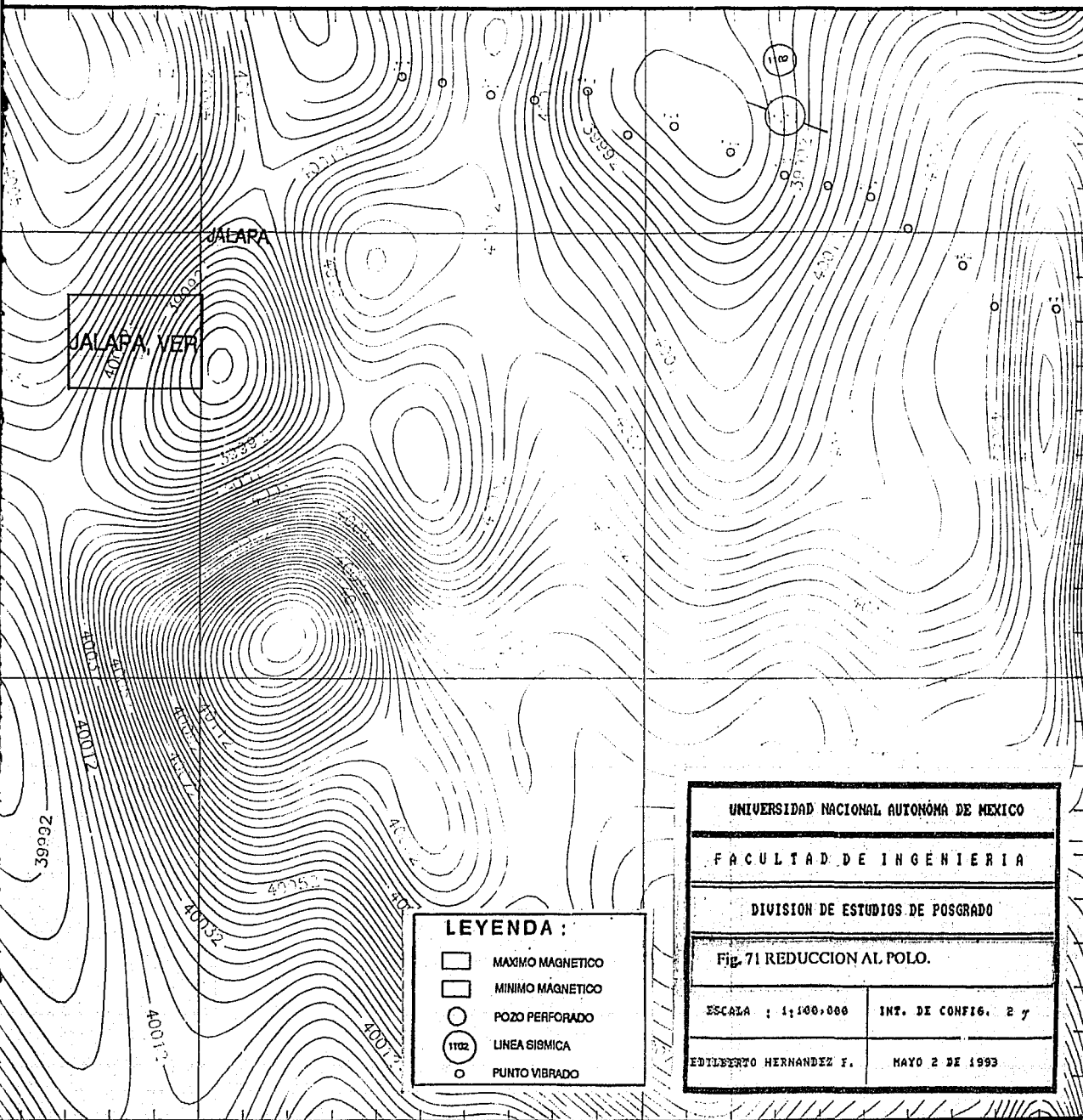
LA LAGUNA

2145



LEYENDA :

- MAXIMO MAGNITUD
- MINIMO MAGNITUD
- POZO PERFORADO
- LINEA EISMICA
- PUNTO VIBRACION



2165

2155

LEYENDA :

- MAXIMO MAGNETICO
- MINIMO MAGNETICO
- POZO PERFORADO
- LINEA SISMICA
- PUNTO VIBRADO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Fig. 71 REDUCCION AL POLO.

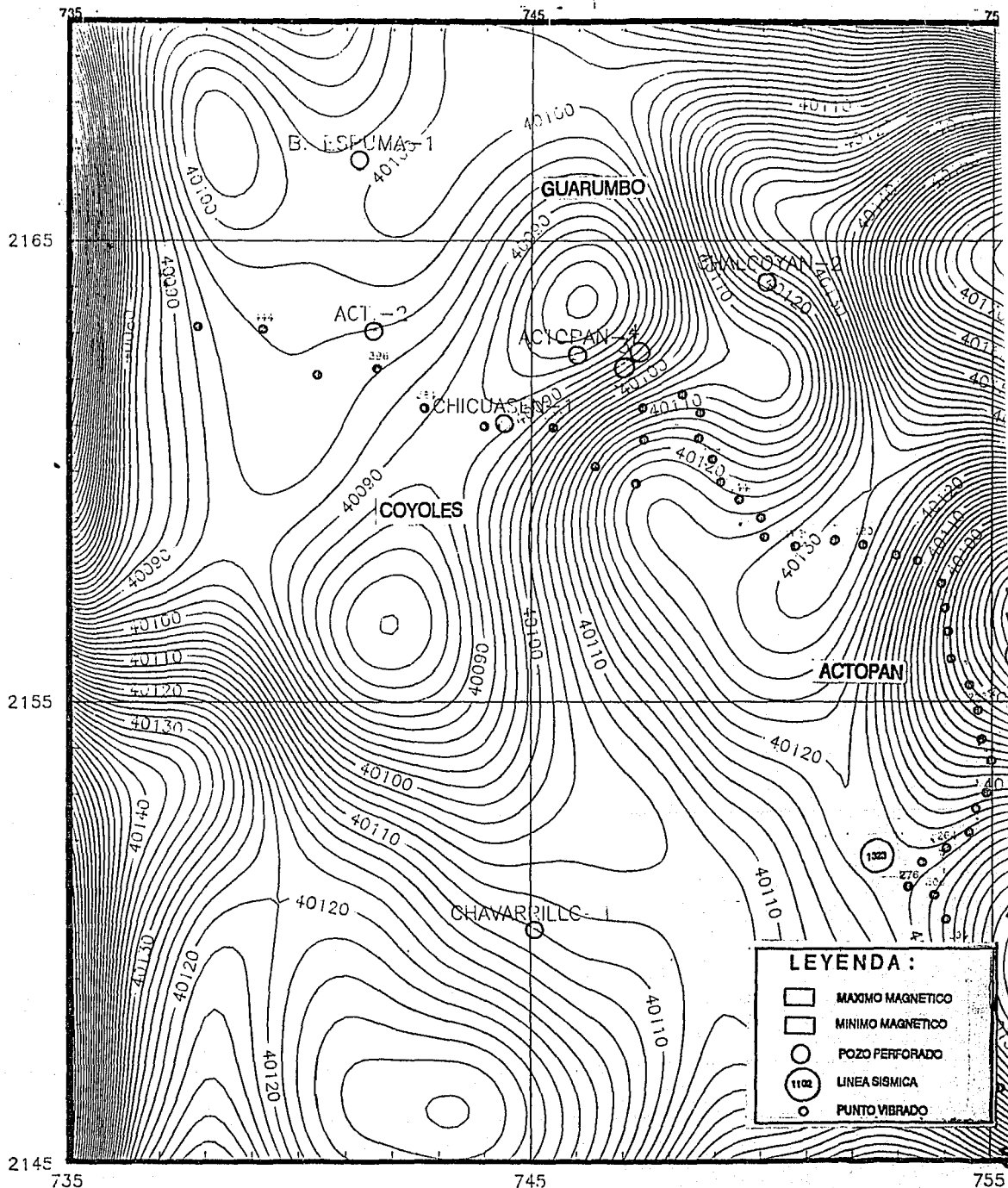
ESCALA : 1:100,000

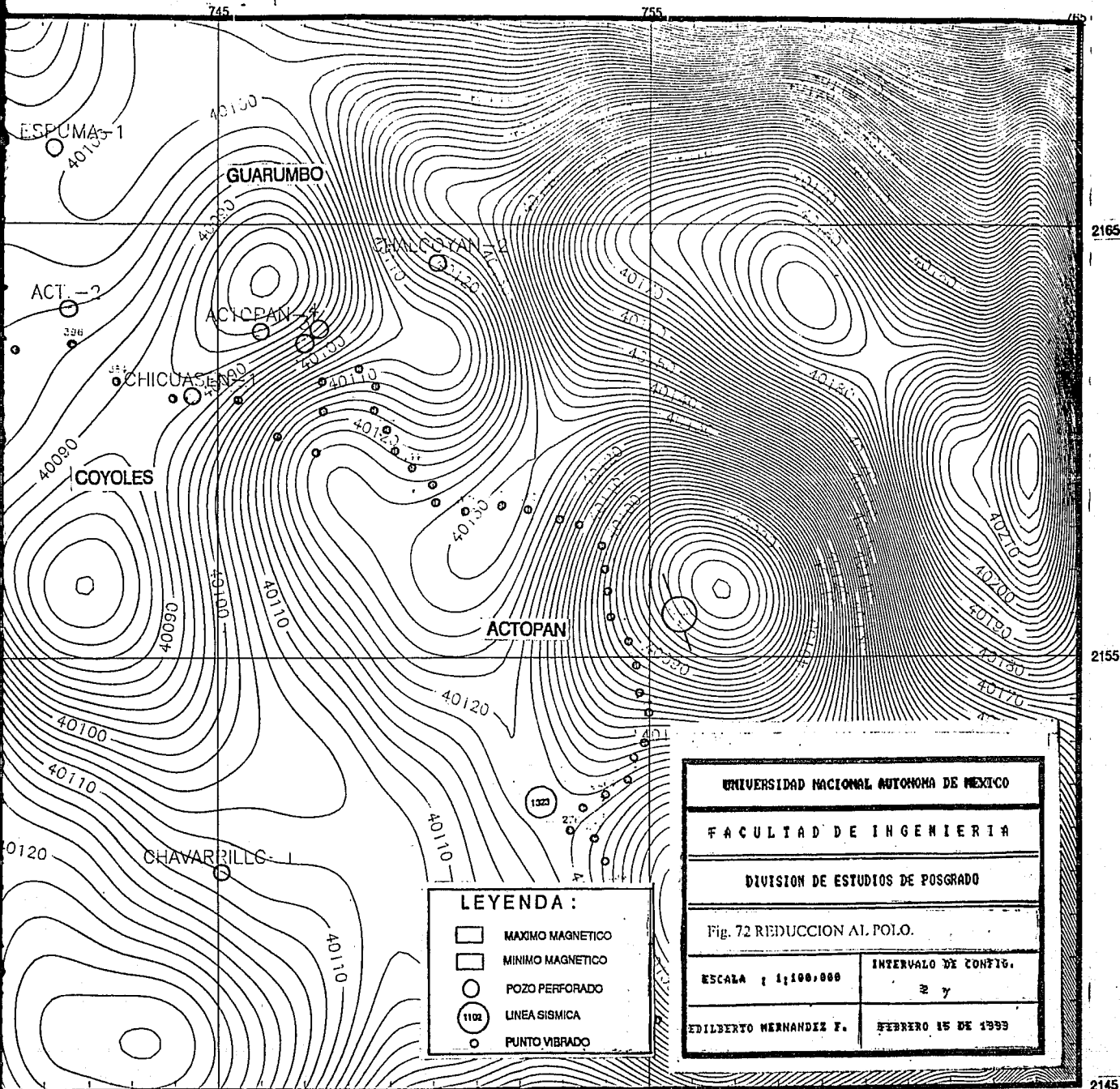
INT. DE CONFI6. 2 γ

EDILBERTO HERNANDEZ F.

MAYO 2 DE 1993

2145





A continuación se describen los resultados de la interpretación de las secciones sísmicas:

Sección 1102 (Fig. 73).-La base de la columna sedimentaria la constituye un basamento granítico (granito de biotita del Carbonífero Temprano), cuya topografía está dada por grandes bloques de basamento y fosas limitadas por fallas normales, las cuales se han constituido como zonas de debilidad por las que se han emplazado los cuerpos ígneos intrusivos cortados durante la perforación de los pozos Actopan-2 y Chicuasén-1 (Fig. 51a) e interpretados en las cercanías de los P.V. 480, 372 y 300. Las fosas se cubrieron de material terrígeno provenientes de las partes positivas como se observa en la fosa interpretada entre los P. V. 276-480. Sobre este basamento descansan discordantemente rocas de la Formación Cahuasas del Jurásico Medio, las que a su vez subyacen discordantemente a las rocas de las formaciones San Pedro y Pimienta del Jurásico Superior, concordantemente sobre éstas descansan rocas del Cretácico Inferior cubiertas discordantemente por las rocas de la Formación Orizaba del Cretácico medio. Sobre estas rocas descansan concordantemente rocas de la Formación Maltrata, las que a su vez subyacen discordantemente a una secuencia normal de rocas de las formaciones San Felipe y Méndez del Cretácico Superior, Velasco del Paleoceno y Aragón del Eoceno Inferior. Discordantemente sobre estas formaciones descansan en secuencia normal rocas de las formaciones Chapopote del Eoceno Superior, Horcones y Palma Real Inferior del Oligoceno Inferior, sobre estas formaciones descansan discordantemente rocas del Reciente.

Del punto vibrado 624 al 400, se ha interpretado un sistema de 4 bloques cabalgados, constituidos por rocas del Mesozoico limitados por fallas inversas. Este sistema es consecuencia del evento tectónico Laramide, causado por el levantamiento del bloque de basamento interpretado al occidente del mismo sistema.

Por su expresión, se deduce, que el sistema de fallamiento normal es antiguo y se ha reactivado en el tiempo geológico, posiblemente su máxima expresión fue en el Terciario contemporáneo al desarrollo del eje Neovolcánico; esto se evidencia por el alcance que han tenido los cuerpos ígneos intrusivos (puntos vibrados 480, 372 y 300).

Aunque la presencia de los ígneos intrusivos interpretados es indeseable para los objetivos petroleros, sin embargo puede decirse que en este caso el metamorfismo producido no ha afectado a los hidrocarburos presentes, sino por el contrario pudo haber propiciado su madurez? además de funcionar como vías de migración y posiblemente de acumulación de los mismos. En el pozo Chicuasén-1 las rocas de la Formación Maltrata se encontraron impregnadas de aceite, en tanto que las rocas de la Formación Orizaba se encontraron manchadas lo cual indica que los hidrocarburos han migrado verticalmente? a través de fracturas, si fuera así entonces puede pensarse que los hidrocarburos provienen de las rocas del Jurásico? que no fueron cortadas por los pozos Actopan-2 y Chicuasén-1.



648 636 624 612 600 588 576 564 552 540 528 516 504 492 480 468 456 444 432 420 408 396 384 372 360 348 336



FIG. 73 LINEA SISMICA 1102



ACTOPAN-2 PROV.

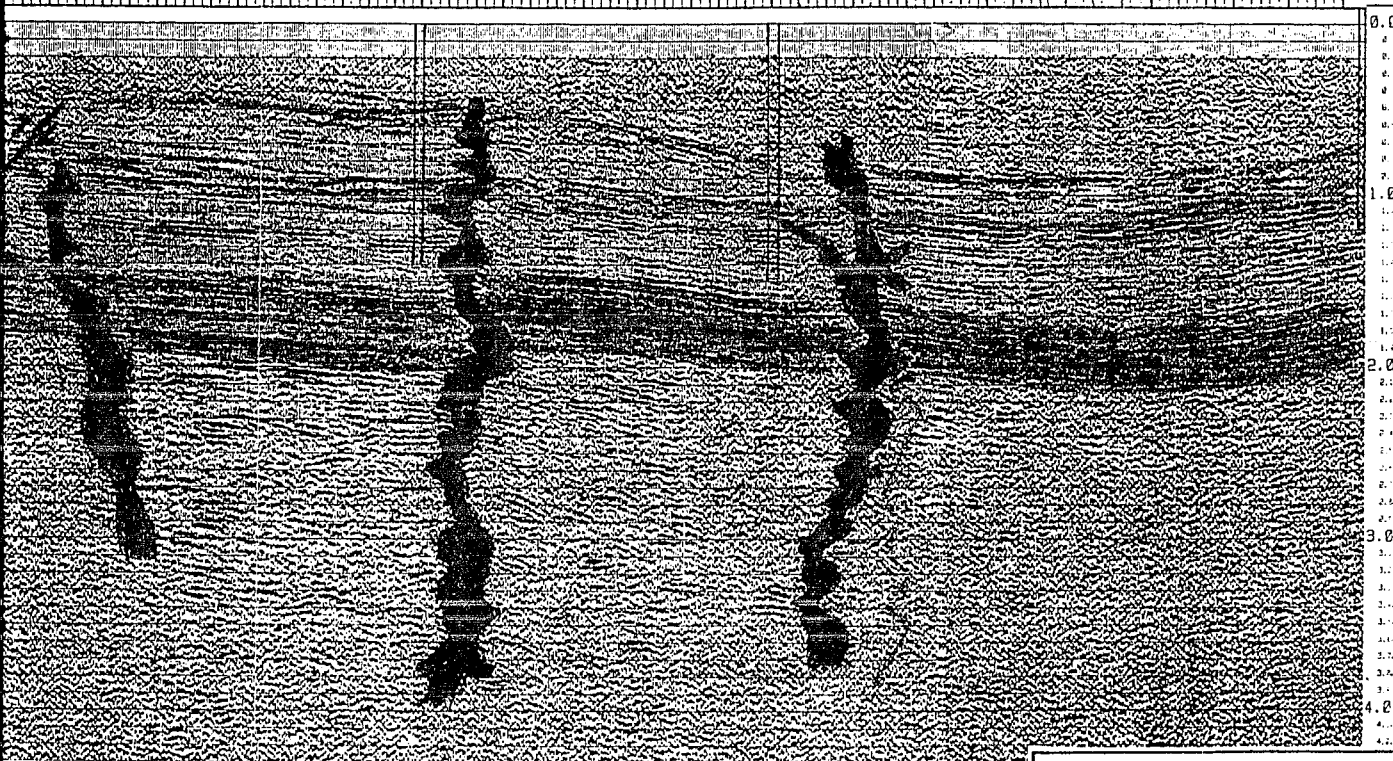


CHILWASEN-1 PROV.



ACTOPAN-3 PROV.

460 468 456 444 432 420 408 396 384 372 360 348 336 324 312 300 288 276 264 252 240 228 216 204 192



0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2.0
2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
2.6
2.7
2.8
2.9
3.0
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
3.6
3.7
3.8
3.9
4.0
4.1
4.2

LEYENDA

- ALFONSO
- DETALLO S.P.
- DETALLO MED.
- DETALLO INF. 2
- DETALLO S.P. 2
- DETALLO

Ya que los ígneos intrusivos interpretados afectan a las rocas de la Formación Aragon del Eoceno Inferior (P.V. 372 y 300) en tanto que en pozo Actopan-3 se identificaron 3 intrusiones ígneas en las rocas de la Formación Horcones del Oligoceno Inferior, por lo tanto, se infiere que sus edades de emplazamiento posiblemente sean del Eoceno Medio y Oligoceno Medio respectivamente.

Por otro lado si los cuerpos intrusivos, identificados en las rocas de la Formación Orizaba del Cretácico Medio (pozo Chicuasen-1) que presentaron pequeños horizontes vesiculares impregnados de aceite con gas en forma aislada (Flores, 1958) corresponden al ígneo intrusivo interpretado de edad Eoceno Medio, entonces puede decirse que para ésta región los hidrocarburos han migrado a partir del Eoceno Tardío?, posterior al emplazamiento de los cuerpos ígneos.

De acuerdo a lo anterior y considerando que los ígneos intrusivos interpretados, estructuralmente delimitan dos bloques independientes de rocas del Mesozoico que posiblemente contienen hidrocarburos entrampados en rocas del Cretácico Inferior-Jurásico Superior, se propone profundizar 500 m. los pozos Actopan-2 y Chicuasen-1.

Sección 1323 (Fig. 74).-La base de la columna sedimentaria corresponde a un basamento granítico cortado por el pozo Actopan-4; aunque no tiene expresión sísmica, se ha corrido un horizonte que lo represente. Discordantemente sobre el basamento sobreyacen rocas de las formaciones Cahuasas del Jurásico Medio y San Pedro del Jurásico Superior, descansan concordantemente sobre éstas formaciones las rocas de las formaciones Orizaba del Cretácico Medio, Maltrata, Guzmantla, San Felipe y Méndez del Cretácico Superior, Velasco del Paleoceno y Aragón del Eoceno Inferior las cuales subyacen discordantemente a las rocas de las formaciones Guayabal del Eoceno Medio, Chapopote del Eoceno Superior, Horcones y Palma Real Inferior del Oligoceno Inferior, discordantemente sobre éstas formaciones les sobreyacen rocas de la Formación Encanto Inferior del Mioceno Medio, que a su vez están cubiertas discordantemente por rocas del Reciente. En ésta sección se corrieron los horizontes sísmicos correspondientes a las cimas del Cretácico Medio, Jurásico Superior, Jurásico Medio y Basamento.

Del punto vibrado 126 al 138 se ha interpretado un apósisis de un ígneo intrusivo, en tanto del punto vibrado 160 al 210 se interpreta otro un ígneo intrusivo, el cuál tiene expresión tanto gravimétrica como magnética, correspondiendo a las anomalías Peñasco y Actopan respectivamente. El alcance de la intrusión es difícil de interpretar ya que en la culminación del mismo, la información no es correlacionable, aunque posiblemente sobre él se encuentren rocas del Paleoceno, si es así entonces su edad de emplazamiento pudiera ser del Eoceno Temprano.

PERMEX

L-132
ACTOPAN, V

C. ESTÁTICA
G.P.
P. VIBRADOR

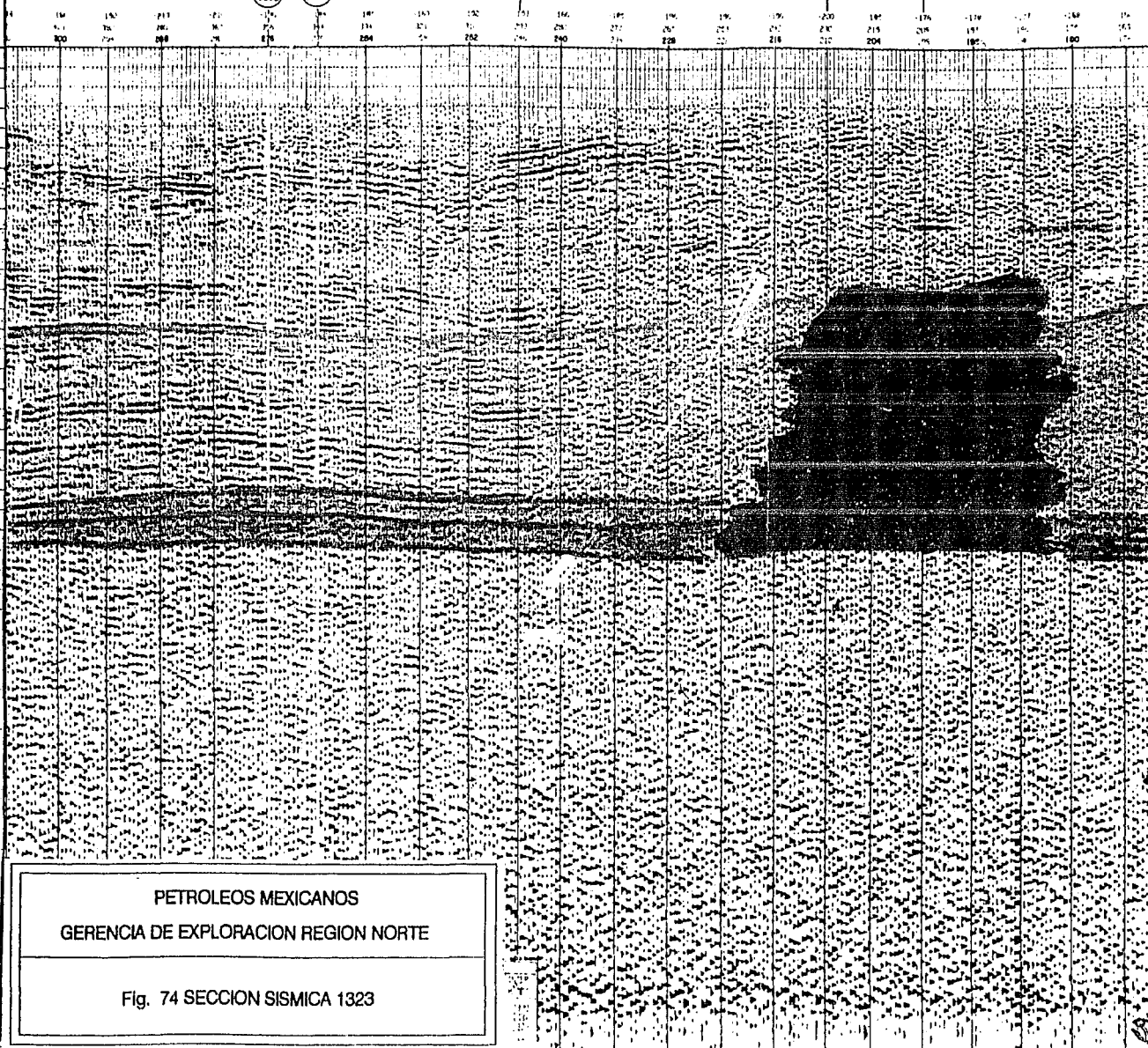
T
I
M
E

I
N

S
E
C
O
N
D
S

NE SE NW S N SE NW

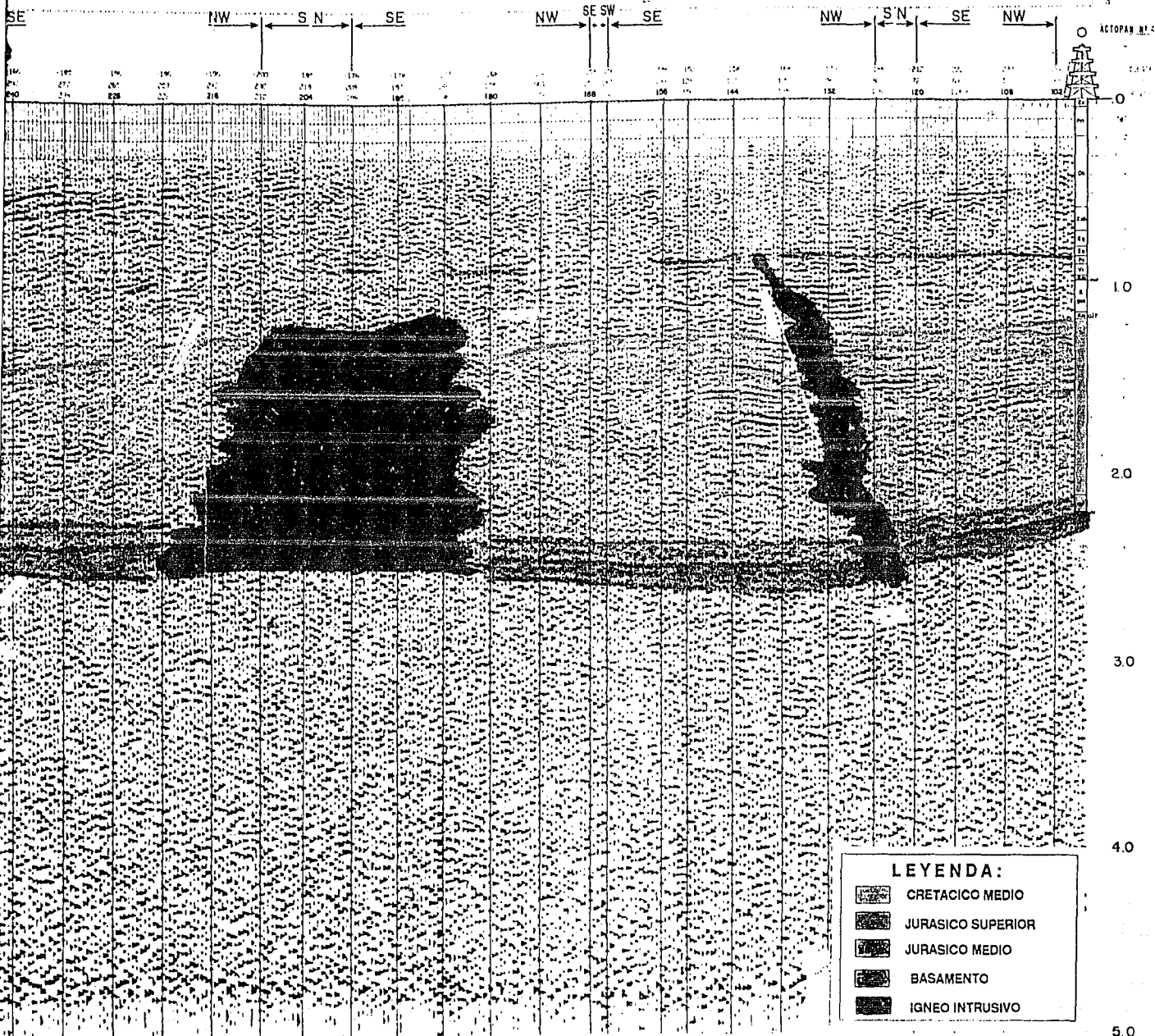
(1312) (1313)



PETROLEOS MEXICANOS
GERENCIA DE EXPLORACION REGION NORTE

Fig. 74 SECCION SISMICA 1323

LINEA EN ZIG-ZAG
EXTREMO SUR



LEYENDA:

-  CRETACICO MEDIO
-  JURASICO SUPERIOR
-  JURASICO MEDIO
-  BASAMENTO
-  IGNEO INTRUSIVO

III.6. Integración Geofísico-Geológica.

Las rocas ígneas extrusivas afloran en un 70% del área de estudiada; de ellas, las andesitas y basaltos (Fig. 49), por su contenido mineralógico, tienen expresión magnética (Fig. 62). La falla inversa Chavarrillo (Fig. 50) mapeada en las cercanías de los pozos Chavarrillo-2 y Jalapa-1 identificada a profundidad, indica que estos pozos se encuentran ubicados en el penúltimo bloque del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba. El último bloque sepultado contiene dos anomalías gravimétricas Pachó Viejo y Pachó Nuevo, que de corresponder a estructuras conformadas por rocas del Mesozoico se vuelven de interés económico-petrolero. Este último bloque constituye el límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba inferido gravimétricamente (Fig. 58) en ésta Tesis y representado por la isoanómal de valor cero, su prolongación hacia el SE lo ha mapeado sismológicamente Silva (1990) hasta cerca del pozo Chavarrillo-2.

Las estructuras anticlinales (en superficie) donde se perforaron los pozos Jalapa-1 y Chavarrillo-1 no tienen expresión gravimétrica, sin embargo en sus cercanías se determinaron las anomalías gravimétricas Cuauhtemoc y Xoltepec con dirección W-E, si éstas estuvieran relacionadas a estructuras conformadas por rocas del Mesozoico entonces puede decirse que los pozos quedaron flanqueados a tales estructuras y por lo tanto también son de interés económico-petrolero. Dentro de estos bloques se definió mediante el proceso de reducción al polo, la presencia de un dipolo al sur del poblado de Pachó Viejo (Fig. 71) que posiblemente corresponda a un ígneo intrusivo denominado la Laguna el cuál tiene expresión gravimétrica (Fig. 58).

Al NW de la Cd. de Jalapa, Ver. (Fig. 58) se ubica la Anomalía Gravimétrica nombrada San Andrés con expresión magnética (Fig. 62), por lo que pudiera corresponder a un cuerpo ígneo intrusivo.

Al oriente de la Cd. de Jalapa Ver., se ubica una anomalía gravimétrica (Fig. 58) nombrada Jalapa cuya expresión magnética sugiere la presencia de un cuerpo ígneo intrusivo del mismo nombre (Fig. 71).

Al norte de la población de Terrero se determinó un máximo magnético (Fig. 71) asociado a los derrames de andesitas-basaltos mapeados (Fig. 51).

En las cercanías del poblado el Terrero se determinó una anomalía gravimétrica (Fig. 58) nombrada Terrero, sin expresión magnética. Posiblemente ésta anomalía corresponda a una estructura sepultada debajo de los derrames de andesitas-basaltos aflorantes (Fig. 51).

Las anomalías gravimétricas Trapiche y Chicuasén con amplitudes de 8 y 6 unidades respectivamente están asociadas a los ígneos intrusivos interpretados en las cercanías de los P.V. 480 y 372 de la sección sísmica 1102 (Fig. 73).

Al occidente del poblado de Xoltepec se determinó una anomalía gravimétrica nombrada La Zapateña, sin expresión magnética, aunque en superficie se ha mapeado un cuerpo de andesitas-basaltos, ésta puede representar una estructura sepultada de calizas del Mesozoico de interés económico-petrolero, al NE de ésta anomalía se determinó un ígneo intrusivo nombrado Coyoles.

En las cercanías de los pozos Actopan-1, Actopan-3 y Actopan-4, mediante el proceso de reducción al polo (Fig. 72), se determinó: un ígneo intrusivo, nombrado Guarumbo, el apófisis interpretado sismológicamente en la línea 1323 (puntos vibrados del 126 al 138) se considera una extensión del mismo cuerpo.

La anomalía gravimétrica denominada Flor Blanca con amplitud de 26 unidades está asociada sismológicamente a un bloque de basamento (Fig. 73).

En las cercanías del poblado de Actopan, Ver. se determinó mediante el proceso de reducción al polo un ígneo intrusivo (Fig. 72), nombrado Actopan, interpretado en la línea simológica 1323, cuyo contacto a nivel Cretácico Superior, está dado en los puntos vibrados del 160 al 216 Su expresión gravimétrica la constituye la anomalía Peñasco.

Las anomalías gravimétricas Rancho Nuevo, Peñasco, Buenos Aires y Apartadero, se encuentran alineadas describiendo segmentos de arco que simulan círculos concéntricos describiendo la forma del Macizo de Plan de las Hayas (Fig. 56) por lo que posiblemente estén relacionados a cuerpos ígneos emplazados por las zonas de debilidad generadas durante su desarrollo.

III.7 CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos propuestos al inicio de este capítulo, se puede decir que:

1.- La metodología propuesta (Fig. 54) de análisis espectral, diseño de filtros y filtrado de datos potenciales para la utilización de éste sistema de proceso es adecuada y aplicable a cualquier área de interés económico.

2.-Mediante el proceso de reducción al polo (figuras 71 y 72) se determinó la posición areal de cinco máximos magnéticos denominados Jalapa, La Laguna, Coyoles, Guarumbo y Actopan, todos con expresión gravimétrica por lo que se interpretan como cuerpos densos y magnetizados que posiblemente corresponden a ígneos intrusivos. El intrusivo Actopan se ha interpretado en la línea sismológica 1323 del punto vibrado 160 al 210 (figura 74).

3- El límite oriental del frente tectónico de la Plataforma de Córdoba, se ha inferido a partir del mapa de anomalías gravimétricas de pasa-banda (Fig. 58).

4.- Los pozos Jalapa-1 y Chavarrillo-1 quedaron flanqueados a las posibles estructuras asociadas a las anomalías gravimétricas Cuauhtemoc y Xoltepec.

5.- De acuerdo a la integración geofísico-geológica las principales áreas de interés económico-petrolero son aquellas donde se ubican las anomalías gravimétricas Cuauhtemoc, Pacho Viejo, Pacho Nuevo, Terrero, Zapateña, Xoltepec Trapiche y Chicuasén, así como también aquella donde se ubican los puntos vibrados del 300 al 624 de la sección sísmica 1102 donde se ha interpretado un sistema de 4 bloques escalonados conformados por rocas del Mesozoico y separados por fallas inversas.

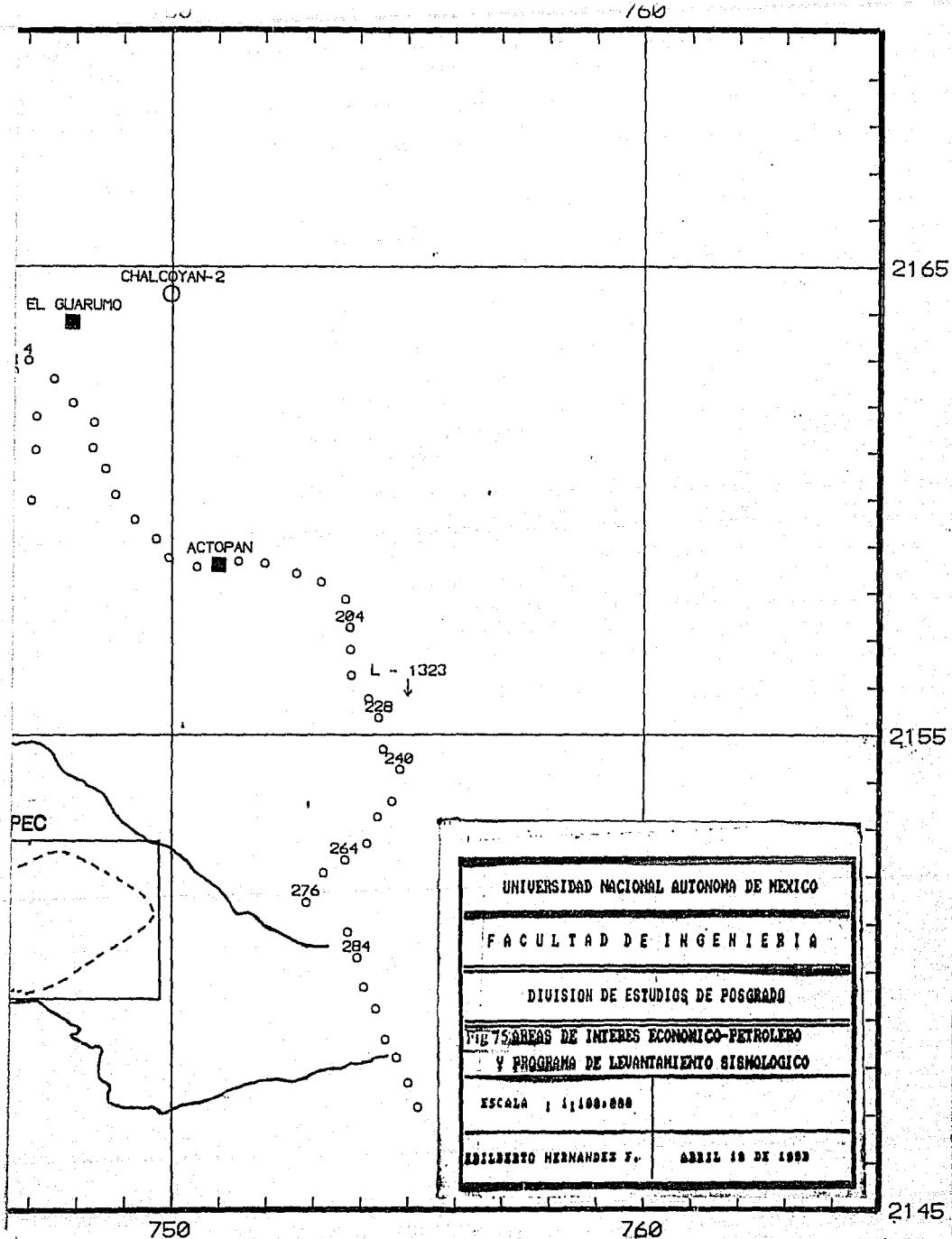
6.- La migración de los hidrocarburos, para ésta porción de la Cuenca de Veracruz se ha realizado cuando menos desde el Eoceno Medio.

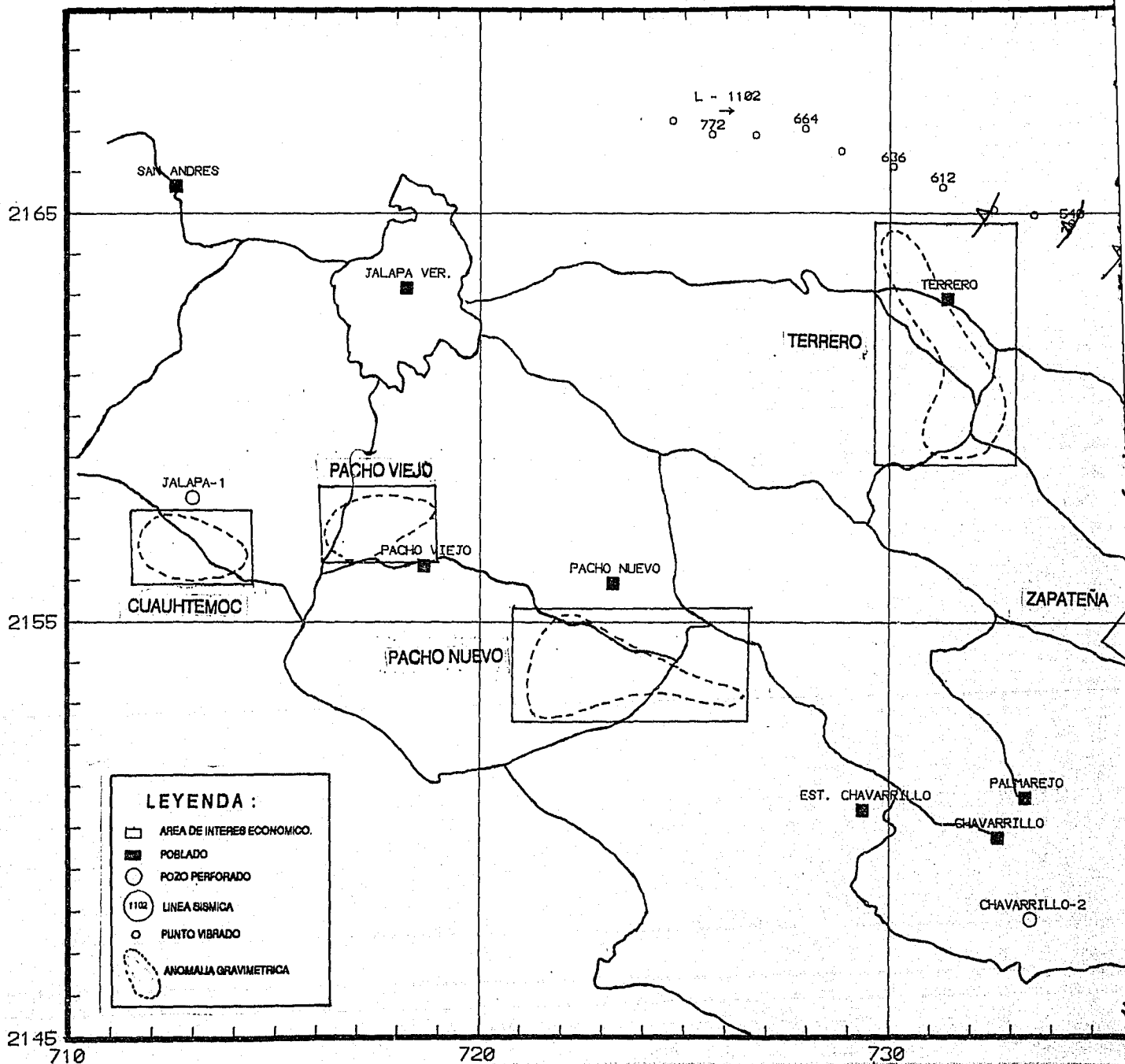
III.8 RECOMENDACIONES.

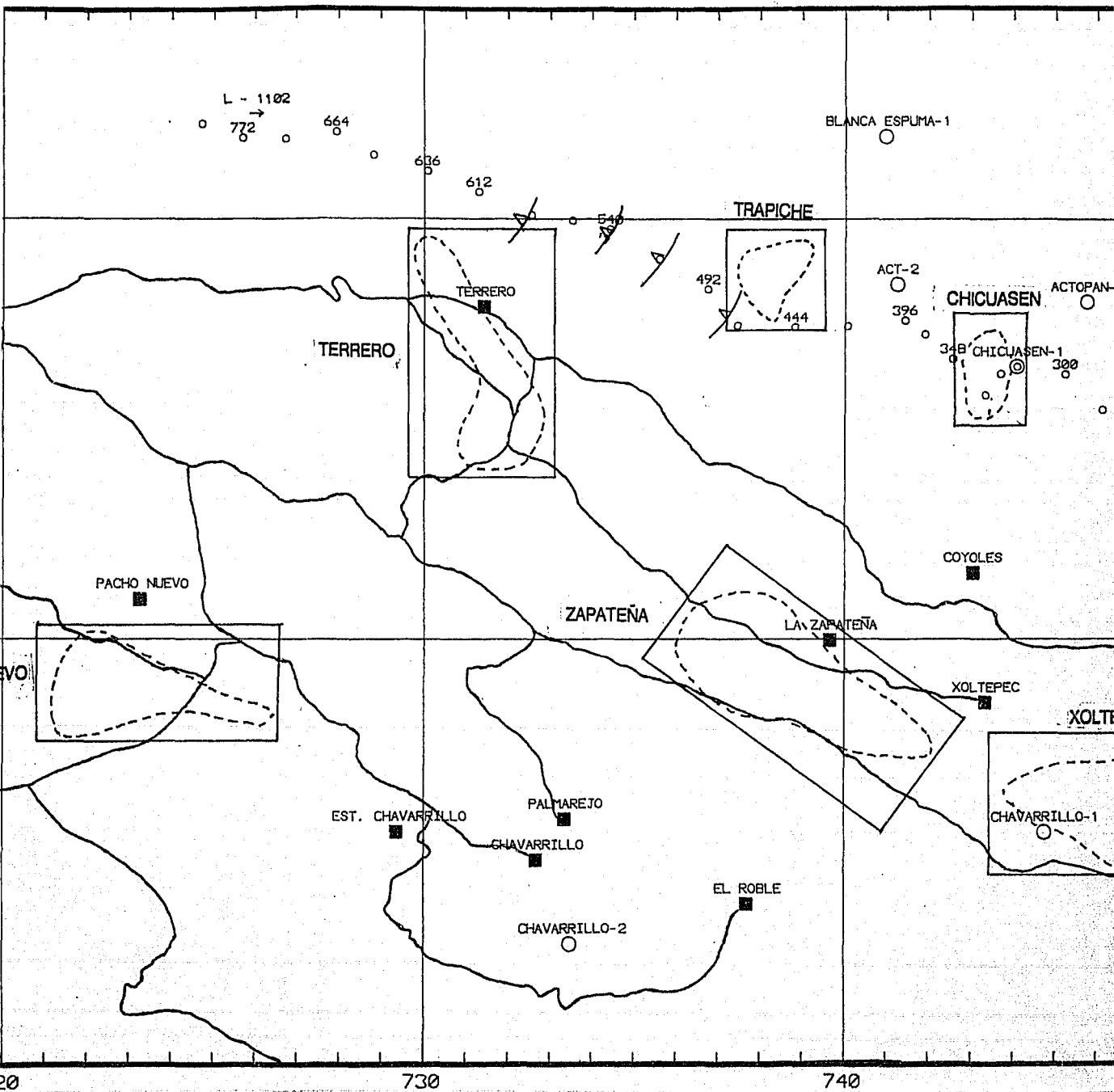
1.- A fin de verificar la existencia de las posibles estructuras asociadas a las anomalías rescatadas con el filtrado pasa-banda y que se consideran de interés económico-petrolero, se recomienda un trabajo sismológico de vibradores, de aproximadamente 200 km. lineales (Fig. 75).

- Con el objeto de evaluar el potencial petrolero de las rocas del Cretácico Inferior-Jurásico? se propone profundizar los pozos Chicuasén-1 y Actopan-2.

- Para conocer la morfología del basamento, se recomienda realizar el modelado de los datos potenciales con el método de Talwani.







CAPITULO IV

CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE PROCESO

Considerando que para la interpretación de áreas de interés económico con objetivos Geotérmicos, Minerales y Petroleros, es necesario contar con planos procesados que contengan rasgos importantes para el interprete y dado que el sistema de proceso permite obtenerlos mediante el análisis espectral, diseño de filtros y el filtrado frecuencial o espacial, se concluye que este sistema puede cubrir una necesidad de la interpretación Geofísico-Geológica.

El sistema presenta ciertas limitaciones, una de ellas es que tan solo puede procesar matrices cuyo orden máximo sea de 64 X 64, otra lo es el hecho de que la discretización y captura de las matrices a procesar es realizado manualmente, por lo que es necesario contar con Hardware especial, por ejemplo computadora personal con microprocesador 486, un digitizador y un graficador para obtener planos a diferentes escalas.

Por su naturaleza el sistema de proceso es un prototipo susceptible de ser ampliado y no una caja negra limitada a sus recursos propios de diseño como lo es el software comercial existente. Se incluye un diskette de 3.5" conteniendo todos los archivos ejecutables empleados por el sistema, excepto los ejecutables de los editores unidimensionales QEDIT, NORTON, SURF, TOPO y GRID éstos tres últimos corresponden al programa de graficación bidimensional GOLDEN.

El sistema de proceso puede utilizarse en brigadas de operación geofísica, para la interpretación preliminar de los datos potenciales o bien en los departamentos de Evaluación geofísica-geológica para una interpretación formal. También es útil para fines didácticos en cursos de Análisis Espectral y consecuentemente en cursos de Procesado de datos Potenciales.

BIBLIOGRAFIA

- Brigham O. E. (1974) "The Fast Fourier Transform". Prentice Hall Inc., p. 91-147.
- Ceja M. L. (1977) "Paquete de Generación de Mapas de propósito general". Petróleos Mexicanos (Inédito).p. 1-25.
- Clemment W. G., (1973) "Basic Principles of Two-Dimensional Digital Filtering". Geophysical Prospecting 21, p. 125-145.
- Correa P. I. (1990) "Transformación Lineal en Frecuencias de Mapas Gravimétricos y Magnéticos". Tesis de Maestría DEPMI-UNAM. p. 47-57.
- Darby E. K. and Davis E. B. (1967) "The Analysis and Design of Two-Dimensional Filters for Two-Dimensional Data". Geophysical Prospecting, Vol. XV, p. 383-406.
- Díaz N. C. R. (1984) "Separación de Anomalías y Filtrado" Notas del curso de Interpretación Gravimétrica (I.M.P.) Inédito, p.1-12.
- Fuller B. D. (1967) "Two Dimensional Frequency Analysis and Design of Grid Operators". Mining Geophysics, Vol. 2, Tulsa, SEG. p. 658-708
- Flores R. J. V. (1958) "Informe Final del Pozo Chicuasén-1".Petróleos Mexicanos (Inédito), p. 1-39.
- González A. J. (1978) "Perspectivas Petroleras del Distrito de Exploración Córdoba". Congreso Panamericano de Ingeniería del Petróleo. p. 1-29.
- González C. R. and Wintz P. T. (1987) "Digital Image Processing". 2nd. ed. Reading, Mass. Addison-Wesley Pub. Company Inc. p. 163-183.
- Gutiérrez H. J. (1973) "Estudio Geológico de Detalle Estructural: Prospecto Actopan-Pachuquilla", IGPR-113, Petróleos Mexicanos (Inédito), p.17-56.
- Lira G. J. (1990) "Notas del curso de Procesado Digital de Imágenes". Instituto de Geofísica (UNAM), cap. 4 p. 1-25.
- Mesko A. D. (1984) "Digital Filtering: Applications in Geophysical Exploration for Oil". Pitman Advanced Publishing Program p.156-165, 234-237,540-553.

Medrano M. L. (1990) "Prospecto San Salvador; Geoquímica de Roca Aflorante". Petróleos Mexicanos (Inédito) p. 1-110.

Ochoa E. O. (1970) "Informe Final del pozo Jalapa-1". Petróleos Mexicanos (Inédito), p.13-26.

Sandoval S. A. (1990) "La Continuación Ascendente a un Plano Horizontal de Datos Potenciales obtenidos en Topografía Abrupta". Tesis de Maestría DEPI-UNAM p. 1-48.

Silva S. P. (1977) " Separación Regional-Residual y Segunda Derivada Vertical en Gravimetría". Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica (UNAM) p. 1-90.

Silva S. P. (1990) "Prospecto Actopan: Interpretación Geofísico-Geológica". PEMEX (Inédito) p. 1-50.

Telford W. M., Geldart L.P. and Sheriff R. E. (1990) "Applied Geophysics "2nd. Ed. Cambridge University Press. p. 6,26-32,62.

Yañez G. C. y García D. S. (1981) "Exploración de la región geotérmica Los Humeros-Las Derrumbadas, Estados de Puebla y Veracruz". Informe interno de la Comisión Federal de Electricidad. Inédito, p. 9-42.

Varios (1952-1973) "Informes de Expedientes de pozos Exploratorios". Petróleos Mexicanos (Inéditos).