

4
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EL CONCEPTO DE ANOMALIA DE BOUGUER
Y SU APLICACION EN EL AREA DE
CIUDAD SERDAN. PUEBLA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOFISICO
P R E S E N T A N :

HECTOR HUGO HERNANDEZ CORTES
VICTOR MANUEL GARCIA ROQUE



MEXICO. D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO.

I.	INTRODUCCION.	1
II.	LA GRAVEDAD Y SUS CONCEPTOS FUNDAMENTALES.	3
	II.1 Breve reseña histórica.	3
	II.2 Descripción matemática.	5
	II.3 Método de prospección gravimétrica.	15
III.	ANALISIS DEL CONCEPTO DE ANOMALIA DE BOUGUER.	17
	III.1 Variación por latitud.	19
	III.2 Compensación por aire libre.	20
	III.3 Compensación de Bouguer.	22
	III.4 Compensación topográfica.	22
	III.5 Compensación por isostacia.	24
	III.6 Variación por marea.	27
	III.7 Anomalia de Bouguer.	27
	III.8 Aplicación de la anomalía de Bouguer.	28
	III.9 Determinación de la densidad de Bouguer.	29
	III.10 Localización de la anomalía.	34
IV.	ALGORITMO Y MAPAS DE LA ANOMALIA DE BOUGUER.	35
	IV.1 Descripción del algoritmo y su estructura.	35
	IV.2 Captura y edición de datos.	36
	IV.3 Corrección gravimétrica en el algoritmo.	36
	IV.4 Graficación de contornos.	37

de las rocas.	38
IV.6 Aplicación del algoritmo e interpretación de los mapas.	38
IV.7 Análisis entre mapas.	40
V. CONCLUSIONES.	43
VI. BIBLIOGRAFIA.	
APENDICE.	

I. INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis es el resultado de nuestra colaboración en el proyecto de investigación: Análisis del concepto denominado Anomalia de Bouguer; que la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI), a través de su sección de Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo, elaboró para Petróleos Mexicanos (PEMEX), en el Área de Cd. Serdán, Puebla, en 1990.

El objetivo principal de esta tesis es el de mostrar un algoritmo que analiza paso a paso como determinar la Anomalia de Bouguer al efectuar las correcciones que se le realizan a los datos gravimétricos de campo, obteniendo de cada una de éstas, sus mapas correspondientes, así mismo se analiza, para diferentes valores de densidad de placa de Bouguer, el mapa mas conveniente con el que se pueda obtener una mejor interpretación. El área de estudio, de donde se obtuvo la información gravimétrica se localiza entre las coordenadas $18^{\circ}45'$ y $19^{\circ}00'$ de latitud y entre $97^{\circ}20'$ y $97^{\circ}40'$ de longitud, que corresponde a la hoja E14B55 del I.N.E.G.I de Cd. Serdán Puebla, fig.I.1. Los datos contenidos en la hoja mencionada son información de estaciones gravimétricas proporcionada por PEMEX, los cuales fueron utilizados en la elaboración de los mapas que nos apoyarán en el análisis de la anomalía de Bouguer del área.

Este trabajo comienza con una breve descripción histórica del desarrollo de la teoría gravimétrica, haciendo mención de algunas personalidades importantes y las aportaciones que hicieron para el desarrollo de la teoría, además se muestran los conceptos matemáticos en los cuales se apoya y que son importantes para su entendimiento y justificación. Se da una breve explicación del método de Prospección Gravimétrica, así como los instrumentos que se utilizan en dicha Prospección.

MAPA DE LOCALIZACION

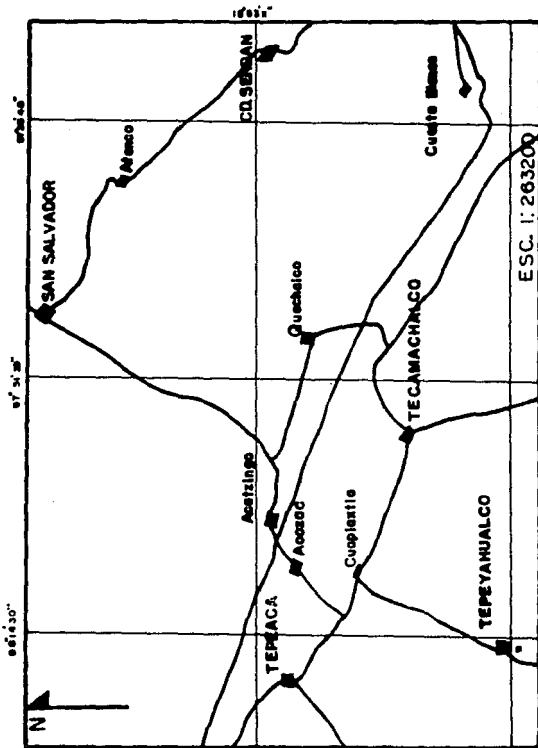


Fig 1.1

En el capítulo tres se describen las compensaciones y variaciones se le aplicaron a los datos gravimétricos de campo, la definición y aplicación de la Anomalía de Bouguer, así como el análisis para la determinación de una densidad adecuada de corrección de Bouguer.

En el cuarto capítulo se describe el algoritmo utilizado en la generación de los mapas del área de Ciudad Serdán, para cada una de las correcciones, hasta llegar al mapa de Anomalía de Bouguer. Con los mapas obtenidos, se discutieron las características que presenta cada uno de ellos, así como la correlación que guardan entre sí. Al final de la tesis se exponen las conclusiones de este estudio derivadas de la elaboración del presente trabajo.

II. LA GRAVEDAD Y SUS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

II.1 BREVE RESUMEN HISTORICA

En el transcurso del tiempo demasidas preguntas, con respecto al movimiento de los cuerpos celestes, tuvieron que ser meditados y contestadas, así también muchos experimentos se realizaron para llegar a comprender el concepto de gravedad que hoy en día conocemos. Una de ellas, era sobre el movimiento de los cuerpos celestes. 'Los que poseían el conocimiento' decían que quedaba fuera de la comprensión del ser humano, y que esos acontecimientos eran de origen celestial y por lo tanto solo correspondían a la ley divina, además el hombre y la tierra eran el centro del universo.

Fue el astrónomo Polaco Copérnico (1473-1543) quien propuso que la tierra no era el centro del Universo y dió a conocer su sistema heliocéntrico que situaba al Sol en el centro y a los planetas girando alrededor en círculos concéntricos.

Posteriormente Kepler (1571-1630) demostró la veracidad de la propuesta de Copérnico; solo que las órbitas de los planetas no eran concéntricas, sino elípticas.

Galileo Galilei (1564-1642) con sus experimentos de planos inclinados, consistentes en dejar caer esferas de diferentes materiales, tabla con diferentes inclinaciones, dedujo una de las más importantes afirmaciones de la historia de la física: Cuando un cuerpo se encuentra afectado por una fuerza, su respuesta experimenta un cambio en su estado de movimiento (esto es, experimenta una aceleración). Pero si el cuerpo no sufre los efectos de fuerza alguna, entonces su estado de movimiento (rapidez) se conservará sin alteraciones.

Si bien fue Galileo el primero que mencionó este principio, fue Isaac Newton (1642-1727) el que determinó este y otros principios, ya que los dispuso en una ecuación matemática, ordenada y estructurada. Además sirvieron para el desarrollo de la mecánica clásica.

Con el establecimiento de esta teoría fue posible entender el movimiento de los cuerpos, sea cual fuere su naturaleza o el lugar que ocupen en el espacio, debido a las fuerzas que los afectan. Newton también revolucionó el concepto de fuerzas y postuló por primera vez que existen fuerzas que operan a distancia. Cuando un cuerpo cae desde una altura lo hace por que hay una fuerza que la tierra ejerce sobre el mismo cuerpo obligandolo a moverse con una cierta aceleración hacia ella. Lo mismo ocurre con los planetas que giran alrededor del Sol. Sus órbitas son el resultado de la fuerza de gravitación del sol que actúa a millones de kilómetros de distancia a través del vacío interplanetario.

Isaac Newton fué el primero que dedujo la fórmula de la gravitación Universal, que representa a la fuerza con que los cuerpos se atraen en el espacio.

II.2 DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA

La ley de la gravitación Universal de Newton establece que todos los cuerpos se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Su expresión matemática es :

$$F = K \left[\frac{m_1 m_2}{R^2} \right]$$

donde:

m_1, m_2 = masas a velocidad mucho menor que la luz.

R = distancia de separación entre masas.

K = constante de Gravitación Universal

$(6.673 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{gr seg}^2)$ unidades C.G.S.

Cabe mencionar que la primera medición de la constante de gravitación fue efectuada por Cavendish utilizando la balanza que lleva su nombre.

La balanza de Cavendish (fig II-1) consiste en un brazo con dos pequeños pesos en sus extremos y suspendida en el centro por un hilo de torsión. El brazo llevaba un espejo en donde se producía la reflexión de un rayo de luz. Se colocaban dos pesadas masas ($M_1 - M_2$) a una cierta distancia de los extremos de la barra y se medía el ángulo de giro causado por la atracción de estas masas mediante la desviación del rayo reflejado. Expresando la condición de equilibrio entre el momento debido a la fuerza de atracción de las masas y la acción antagonista del hilo de torsión, Cavendish obtuvo la medida de K .

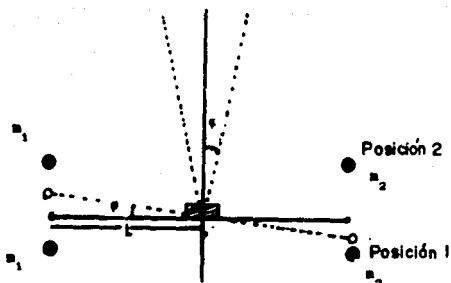


Fig. II.1

Se ha observado que, en el universo, una masa genera en el espacio un campo de atracción. Con la anterior denominación se indica el fenómeno físico de gravedad de masa.

El campo de atracción es un concepto físico cuyas unidades son equivalentes a una aceleración. En términos matemáticos:

$$\vec{g} = K \left[\frac{m}{R^2} \right] \vec{r}_u$$

en donde:

K= cte. de gravitación universal

m= masa generadora del campo

R= función de distancia

\vec{r}_u = vector unitario

El campo de atracción \vec{g} de la masa , se asocia con la fuerza de atracción \vec{F} entre tal masa y otra cualquiera mediante la relación :

$$\vec{g} = \lim_{m_1 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{m_1} = \frac{K m}{R^2}$$

De lo anterior se observa que el campo de atracción de la masa m, lo podemos también definir como la aceleración producida sobre la masa m_1 .

Dimensionalmente el campo de atracción g está dado en (cm/seg²) en el sistema C.G.S. que es el gal y la fuerza (g cm/seg²) que es la Dina .

El campo gravimétrico es un campo potencial, y define en un punto la energía gravitatoria que se requiere para mover una unidad de masa desde un punto arbitrario de referencia (generalmente en el infinito) hasta el punto en cuestión.

Aunque la teoría del potencial Newtoniano considera la distribución, lineal, superficial y volumétrica de la

densidad, es evidente que la de interés práctico en la exploración geofísica, es la distribución de masa por unidad de volumen, por lo que la expresión matemática del potencial gravitatorio para este tipo de distribución la encontramos haciendo las siguientes consideraciones:

El campo de atracción de una masa distribuida en un volumen que tiene una densidad $\rho = \rho(x', y', z')$, en el punto B de coordenadas (x, y, z) se puede determinar si se considera primero el campo de atracción en B ejercido por un elemento diferencial de masa dm como se muestra en la figura II-2.

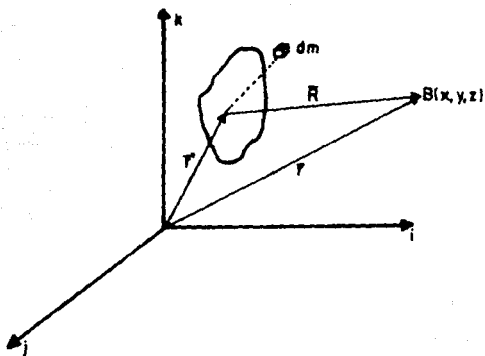


Fig. II.2

Expresado de acuerdo a la siguiente relación:

$$d\bar{g} = \left[\frac{K \, dm}{R^2} \right] \bar{R} \text{ ----- II.1}$$

donde:

$$\bar{R} = \left[(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2 \right]^{1/2}$$

Como el campo de atracción del elemento diferencial de masa dm es un vector, sus componentes en las tres direcciones coordenadas se pueden expresar de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$dg_x = \frac{K \, dm}{R^2} \cdot \frac{x - x'}{R}$$

$$dg_y = \frac{K \, dm}{R^2} \cdot \frac{y - y'}{R}$$

$$dg_z = \frac{K \, dm}{R^2} \cdot \frac{z - z'}{R}$$

por lo que el campo de atracción \bar{g} , en el punto $B(x, y, z)$ de toda la masa distribuida en el volumen V , resulta ser la suma vectorial de todas sus componentes, es decir:

$$\bar{g} = i g_x + j g_y + k g_z$$

donde:

$$g_x = K \int_V \frac{(x - x') \, dm}{R^3}$$

$$g_y = K \int_V \frac{(y - y') \, dm}{R^3}$$

$$g_z = K \int_V \frac{(z-z')}{R^3} dm$$

Otra forma de expresar la ecuación II.1 es:

$$\vec{g}(\vec{r}) = -K \int_V \frac{\rho(\vec{r}') \vec{r}_{vu}}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} dv \quad \text{-----II.2}$$

En donde el signo negativo se obtiene debido a que $\vec{g}(\vec{r})$ va dirigido hacia el cuerpo que crea el campo, y puesto que el vector de posición \vec{R} (\vec{r}, \vec{r}') siempre va del cuerpo hacia el punto de campo y por consecuencia también \vec{r}_{vu} .

Para conocer las propiedades y características del campo gravitacional es necesario determinar las ecuaciones de campo. El teorema de Helmholtz indica que si se conocen la divergencia y el rotacional de un campo vectorial (llamadas las ecuaciones de campo), entonces el campo proviene de tomar el gradiente de una función escalar y el rotacional de una función vectorial y que dichas funciones se determinan a través de integrales de volumen. Matemáticamente todo esto se puede expresar como:

$$\nabla \cdot \vec{F}(\vec{r}) = S(\vec{r})$$

$$\nabla \times \vec{F}(\vec{r}) = \vec{C}(\vec{r})$$

Entonces:

$$\vec{F}(\vec{r}) = -\nabla\phi(\vec{r}) + \nabla \times \vec{A}(\vec{r})$$

Donde:

$$\nabla \times \left[\frac{\vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} \right] = - \nabla \times \nabla \left[\frac{1}{R(\vec{r}, \vec{r}')} \right] = 0$$

ya que el rotacional de un gradiente siempre es cero, se obtiene, entonces que:

$$\nabla \times \vec{g}(\vec{r}) = 0$$

DIVGENCIA .-

Procediendo en forma similar, se tiene que:

$$\nabla \cdot \vec{g}(\vec{r}) = -K \int_{V'} \left[\nabla \cdot \left[\frac{\rho(\vec{r}') \vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} dv' \right] \right]$$

Del cálculo vectorial

$$\nabla \cdot \left[\frac{\rho(\vec{r}') \vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} \right] = \nabla \rho(\vec{r}') \cdot \frac{\vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} + \rho(\vec{r}') \nabla \cdot \frac{\vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')}$$

Se tiene que:

$$\nabla \rho(\vec{r}') = 0$$

$$\nabla \cdot \frac{\vec{r}_u}{R^2(\vec{r}, \vec{r}')} = - \nabla \cdot \nabla \left[\frac{1}{R(\vec{r}, \vec{r}')} \right] = - \nabla^2 \left[\frac{1}{R(\vec{r}, \vec{r}')} \right]$$

Pero:

$$\nabla^2 \frac{1}{R(\vec{r}, \vec{r}')} = \begin{cases} 0 & \text{si } \vec{r} \neq \vec{r}' \\ -4\pi\delta(\vec{r}-\vec{r}') & \text{si } \vec{r} = \vec{r}' \end{cases}$$

$$\nabla \cdot \vec{g}(\vec{r}) = -K \int_{v'} -\rho(\vec{r}') [-4\pi\delta(\vec{r}-\vec{r}')] dv'$$

recordando que:

$$\int_{v'} \rho(\vec{r}') \delta(\vec{r}, \vec{r}') dv' = \rho(\vec{r})$$

Entonces:

$$\nabla \cdot \vec{g}(\vec{r}) = -4\pi K \rho(\vec{r})$$

De teorema de Helmholtz y de los resultados antes obtenidos, se tiene para el campo gravitacional terrestre.

$$\nabla \cdot \vec{g}(\vec{r}) = -4\pi K \rho(\vec{r}) \quad 11.3$$

$$\nabla \times \vec{g}(\vec{r}) = 0 \quad 11.4$$

$$\vec{g}(\vec{r}) = -\nabla \phi(\vec{r}) \quad 11.5$$

$$\phi(\vec{r}) = -K \int_{v'} \frac{\rho(\vec{r}')}{R(\vec{r}, \vec{r}')} dv' \quad 11.6$$

$$\nabla^2 \phi(\vec{r}) = 4\pi K \rho(\vec{r}) \quad 11.7$$

Donde v' es la región del espacio ocupado por el cuerpo o fuente.

Indudablemente el campo gravitacional, es un campo conservativo, de acuerdo a las ecuaciones anteriores.

11.3 METODO DE PROSPECCION GRAVIMETRICA

El método gravimétrico es usado como primera aproximación para determinar zonas de algún interés, económico en la exploración, el método es comparativamente más rápido y eficiente que otros métodos geofísicos que requieren mayores necesidades de personal y equipo de medición, cuando se proyecta evaluar preliminarmente las características estructurales del subsuelo.

Básicamente, el método de la prospección gravimétrica consiste en la medición de las pequeñas variaciones del campo gravitacional, las cuales se encuentran asociadas a variaciones horizontales de densidad que ocurren en el subsuelo. Todas las estructuras geológicas interesantes en la prospección petrolera, dan lugar a cambios horizontales o laterales de la densidad, que originan perturbaciones en el campo gravitatorio terrestre, creando anomalías que pueden servir de diagnóstico, para su localización.

La magnitud de las perturbaciones anómalas provocadas por las estructuras del subsuelo, comparadas con la atracción de la Tierra son, en algunos casos, menores que una diezmillonésima parte. Para medir estos valores tan pequeños de la de gravedad se necesitan instrumentos extremadamente sensibles.

El péndulo es un instrumento que sirve para hacer medidas absolutas y relativas de la gravedad; la balanza de torsión y el gravímetro sirven únicamente para medir la gravedad relativa. Actualmente, en la prospección gravimétrica sólo se emplean los gravímetros, los cuáles miden directamente las pequeñas variaciones de la componente vertical de la gravedad, es decir, valores relativos de dicha componente

El fundamento del gravímetro es, en esencia una masa suspendida en un muelle o sistema de muelles o fibras de torsión. Las pequeñas variaciones de gravedad se traducirán en variaciones de peso, o lo que es lo mismo, en pequeños alargamientos o acortamientos del muelle de suspensión. Según el sistema de medida de los cambios de longitud del muelle los gravímetros se clasifican en gravímetros estables o inestables.

El gravímetro estable tiene un elemento de respuesta cuyo desplazamiento, de su posición de equilibrio, es directamente proporcional al cambio en el valor de la gravedad. Puesto que estos desplazamientos son extremadamente pequeños, debe amplificarse por medios ópticos, mecánicos o eléctricos. Los gravímetros inestables, se constituyen de tal manera que cualquier cambio en la gravedad, desde su valor de equilibrio, provoquen la actuación de otras fuerzas que aumenten el desplazamiento que causaría solamente el cambio de gravedad. Entre los gravímetros inestables más comunes se encuentran el Worden cuyas características de fabricación son: precisión (0.01 mgal), poco peso (2.45 kg) y su dispositivo de compensación térmica que lo hace prácticamente inalterable a las variaciones de temperatura, constituye en su clase el gravímetro más apropiado para las prospecciones gravimétrica.

III. ANALISIS DEL CONCEPTO DE ANOMALIA DE BOUGUER

El estudio de los datos gravimétricos en la exploración se fundamenta en la comparación entre los valores observados y los valores teóricos esperados del campo gravimétrico del planeta.

Así pues, para poder representar los valores de gravedad observados en un mapa, es necesario proceder a hacerles una serie de compensaciones que permitan obtener el valor teórico de la gravedad en, el punto de observación considerando los accidentes topográficos (montañas, depresiones, mares) y así compararlo con el valor de la gravedad medida. Dichas compensaciones (fig No III.1) son:

- a).- VARIACION POR LATITUD.
- b).- COMPENSACION POR AIRE LIBRE.
- c).- COMPENSACION DE BOUGUER.
- d).- COMPENSACION TOPOGRAFICA.
- e).- COMPENSACION POR ISOSTACIA.
- f).- VARIACION POR MAREAS.

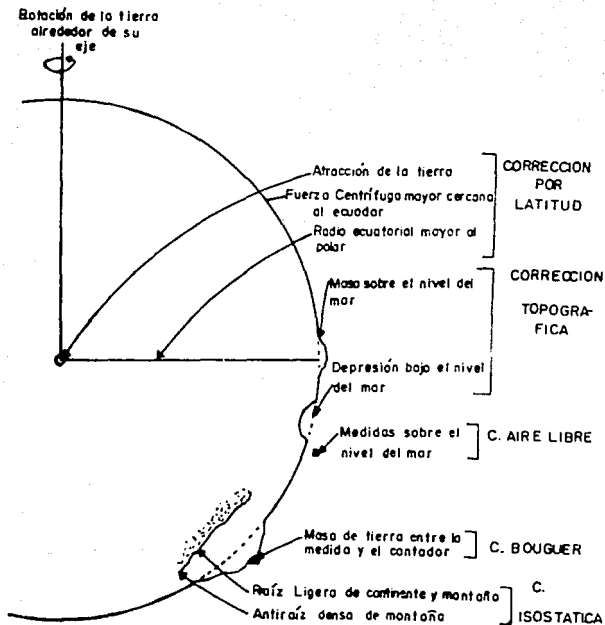


Fig. 111.1

III.1 VARIACION POR LATITUD

Debido a la rotación de la tierra que provoca una fuerza centrífuga; la cual es máxima en el ecuador y mínima en los polos y por otro lado, dado que, el radio tiende a ser mayor en el ecuador que en los polos, existe una diferencia natural de la gravedad según la latitud del punto de observación, es decir, para una determinada latitud se tiene un diferente valor de gravedad.

La fórmula adoptada por la Asociación Internacional de Geodesia, que determina el valor de la gravedad teórica g , en función de la latitud es:

$$g(\varphi) = g_0(1 + \alpha \text{sen}^2 \varphi - \beta \text{sen}^2 2\varphi) \text{ -----III.1}$$

donde:

g_0 = gravedad ecuatorial = 978.0318 gales

φ = Latitud

α = 0.0052884

β = 0.0000059

Para poder obtener la variación por latitud, se tendrá que aplicar la derivada con respecto a φ sobre la ecuación III.1 .

Por lo que :

$$\frac{dg(\varphi)}{d\varphi} = 978.049 (0 + 2\alpha \text{sen} \varphi \cos \varphi - 4\beta \text{sen} 2\varphi \cos 2\varphi)$$

sabiendo que:

$$2\text{sen} \varphi \cos \varphi = \text{sen} 2\varphi$$

$$2\text{sen} 2\varphi \cos 2\varphi = \text{sen} 4\varphi$$

por lo tanto: $\frac{dg}{d\phi} = g_0 (\alpha \text{sen}2\phi - 2\beta \text{sen}4\phi)$

$$dl = r d\phi$$

$$\frac{dg}{dl} = \frac{dg}{rd\phi} = \frac{1}{r} \frac{dg}{d\phi}$$

$$\frac{dg}{rd\phi} = \frac{978.049}{r} (\alpha \text{sen}2\phi - 2\beta \text{sen}4\phi)$$

$2\beta \text{sen}4\phi$ es muy pequeño, por lo que se puede despreciar

por tanto:

$$\frac{dg}{dl} = 1.307 \text{sen}2\phi \text{ mgal/milla, en primera aproximación}$$

III.2 COMPENSACION POR AIRE LIBRE

Dado que la gravedad varía inversamente al cuadrado de la distancia será necesario compensar nuestra gravedad teórica, referida al nivel del mar, al nivel de la estación de observación ya que las estaciones no se encuentran a una misma cota.

Esta compensación no toma en cuenta el material existente entre la estación y el plano de referencia (Elipsoide, en donde se evalúa el valor teórico de la gravedad).

Esta compensación, también se le denomina, Corrección de Faye.

Para obtener dicha compensación en primera aproximación

se procede:

$$g = K \frac{M}{R^2} ; \quad KM = gR^2$$

$$\frac{dg}{dR} = - \frac{2KM}{R^3} = - \frac{2gR^2}{R^3}$$

$$\therefore \frac{dg}{dR} = - \frac{2g}{R}$$

$$\frac{dg}{dR} = -0.308 \text{ gal/m}$$

donde:

M = masa

K = Constante de Gravitación Universal

R = Radio de la tierra

El signo negativo indica que la compensación de aire libre decrece con la elevación, debido a que el punto de observación se encuentra muy lejos del centro de la tierra; por lo tanto es restada al valor teórico de la gravedad, cuando la estación está sobre el nivel de referencia y sumado cuando esté por debajo.

III.3 COMPENSACION DE BOUGUER

Esta compensación considera la atracción del material que se encuentra entre la altura de la estación de observación y el plano de referencia. Suponiendo que la estación estuviera situada sobre una placa horizontal de cierto espesor y densidad uniforme, la compensación que se obtiene debido a esta placa incrementara el valor teórico de la gravedad al nivel del mar.

Asumiendo una placa de extensión horizontal infinita obtenemos:

$$dga/R_e = dga/dR_e = 2\pi\gamma\sigma \text{ mgal/ft} = 0.04193 \text{ mgal/m}$$

donde:

σ = densidad de placa

h = altura

γ = constante de gravitación universal

g_p = gravedad

La compensación de Bouguer se aplica con signo contrario a la de aire libre, a fin de determinar el valor teórico de la gravedad en el sitio de la medición.

III.4 CORRECCION TOPOGRAFICA

Al realizar la lectura de una estación, el terreno por lo general no es regular; ya que puede estar rodeado por montañas o valles, cerca o distantes de la estación en cuestión.

Para el caso de montañas se tendrá una atracción ascendente; y en caso contrario tendremos un valle. La

corrección es siempre aditiva.

De los métodos existentes para la corrección por relieve, el que se utilizó en este trabajo fué el método de Hammer el cual se describe a continuación:

La plantilla consta de círculos concéntricos que definen zonas (B, C, D,...) los cuales se encuentran divididos por sectores tal como se muestra en la figura III.2 .

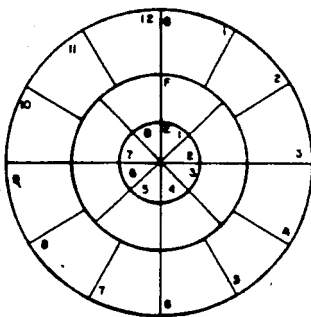


figura III.2

La plantilla se diseña de acuerdo a la escala del plano topográfico (1:50000, 1:250000 etc.), que se utiliza para efectuar la corrección. Para aplicar este método se superpone la plantilla sobre el plano topográfico, la precisión de este método depende de la altura promedio y la aproximación del valor de la densidad promedio del sector.

Para obtener la corrección topográfica usando el sistema de Hammer, se aplica la expresión siguiente:

$$PSC = ((0.4189 \cdot DENS) / NS) \cdot ((R_2 - ABS(R_2 + A)) - R_1 - (R_1 + A))$$

DONDE :

PSC= corrección parcial del sector

NS= número de sectores del anillo

R₂= radio externo del anillo

R₁= radio interno del anillo

A= altura de la estación menos elevación promedio

DENS= densidad promedio.

III.5 COMPENSACION POR ISOSTASIA

Cuando el área a explorar es demasiado extensa y existan diferencias notables de elevación, tendrá que realizarse la corrección por isostasia.

El concepto de isostasia se puede definir como una variación en la densidad de la corteza terrestre, relacionada con las elevaciones en la superficie.

Se ha encontrado que en promedio la anomalía de Bouguer, en áreas cercanas al nivel del mar es aproximadamente cero. En áreas oceánicas es generalmente

positivo, mientras en regiones de elevación grande sobre el nivel del mar se manifiesta con valor negativo.

Existen dos hipótesis para explicar el fenómeno de isostacia formuladas por G.B. Airy y J.H. Pratt, respectivamente.

Airy propuso una corteza rígida, de densidad uniforme flotando en un substrato líquido de alta densidad (fig. III.3a).

Pratt supuso una corteza flotando en un líquido uniforme donde la densidad que se presenta bajo una región montañosa es menor, que con respecto a la región donde la corteza es delgada (fig. III.3b).

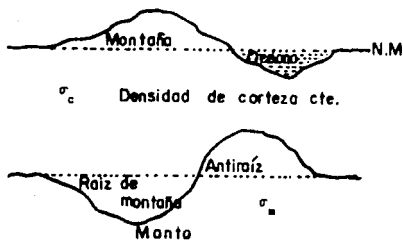


Fig. III.3a (Hip. Airy)

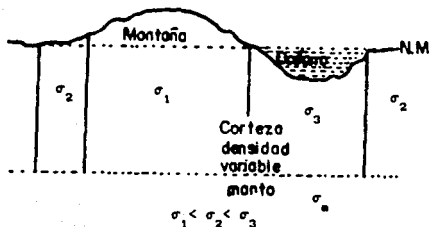


Fig. III.3b (Hip. Pratt)

Heiskanen presentó una modificación a las dos hipótesis anteriores en la cual combina una variación lateral de la corteza, con un gradual incremento de la densidad vertical.

En este trabajo, la compensación por isostacia no se consideró, puesto que el área estudiada es relativamente corta.

III.6 VARIACION POR MAREA

La atracción gravitatoria del sol y la luna produce una variación en el campo gravimétrico terrestre; cuya intensidad dependerá de las posiciones relativas de estos con respecto a la tierra. Su amplitud máxima puede llegar en total a 0.3 mgal.

El efecto de las mareas es importante en la prospección y es eliminado parcialmente al efectuar la compensación por deriva y divergencia, cuando los datos gravimétricos son tratados, a fin de obtener el valor de la anomalía de Bouguer por cada estación del proyecto.

III.7 ANOMALIA DE BOUGUER

El mapa de Anomalía de Bouguer nos representa la distorsión que sufre el campo gravimétrico normal la cuál es provocado por todos los contrastes de densidad que existen en el subsuelo.

Se puede definir la anomalía de Bouguer como la diferencia entre un valor de gravedad observado y la gravedad teórica compensada:

$$A B = g_b - \gamma_c$$

$$A B = g_{obs} - (g_t - dg_f + dg_b - dg_t)$$

donde:

g_{obs} = gravedad observada en la estación

dg_f = compensación por aire libre

dg_b = compensación de Bouguer

dg_t = corrección topográfica

g_t = gravedad teórica

III.8 APLICACION DE LA ANOMALIA DE BOUGUER

Los valores obtenidos ya corregidos se cartografían en un mapa trazando las curvas de igual valor (isoanómalas). Las curvas isoanómalas evidencian casi siempre un panorama del subsuelo, es decir, la distribución de densidad en el área prospectada.

Dicha anomalía representa las perturbaciones de la atracción que difieren de lo esperado, tales efectos están en función del contraste de densidad entre el cuerpo y el medio.

Con el mapa de anomalías de Bouguer empieza la labor más importante del geofísico, que es la interpretación gravimétrica, la cual consiste en transformar el mapa de la Anomalía de Bouguer en un modelo geológico estructural el cual debe de ser la fuente que lo origina.

El mapa de anomalía de Bouguer nos muestra la suma de todos los efectos producidos por los contrastes de densidad que presentan las rocas del subsuelo tanto en profundidad como en superficie; sin embargo las variaciones amplias serán debidas a contraste de densidades profundos o lejanos que generalmente son el basamento, y las anomalías de altas frecuencias serán producidas por contrastes de densidades más próximos a la superficie.

La interpretación gravimétrica principalmente se divide en dos etapas: a) interpretación cualitativa, b) interpretación cuantitativa.

El principal objetivo del análisis del mapa de Bouguer es obtener una interpretación tanto cualitativa como cuantitativa del área en cuestión; las principales técnicas

para analizar la información gravimétrica son:

1.- Separación de los efectos de las masas profundas y someras.

2.- La definición de los efectos gravimétricos de las anomalías sedimentarias, determinando la probable profundidad y dimensiones de las estructuras interpretadas.

3.- Separar las distintas anomalías y definir las en términos de posibles anticlinales, sinclinales, domos etc.

4.- Para el caso de fines de prospección petrolera; determinar el tamaño y la profundidad de las posibles trampas; en prospección minera determinar, principalmente, la masa que produce una determinada anomalía.

III.9 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE BOUGUER

Un mapa de anomalía de Bouguer, es la diferencia entre un valor medido y el valor esperado o teórico de la gravedad al nivel de la estación, es decir:

$$A B = g_m - (\gamma_t - 3.086h + 0.419\sigma h) + CT$$

en donde:

γ_t = Valor teórico de la gravedad al nivel del elipsoide de referencia

h = diferencia de cotas entre la estación y el plano de referencia.

σ = densidad promedio de las rocas entre el plano de referencia y la estación

CT = corrección topográfica

Se considera que una anomalía de Bouguer surge, debido a la presencia de una estructura en el subsuelo, que presenta un contraste de densidad, con respecto a la densidad usada para la compensación de placa, en el cálculo de la anomalía de Bouguer (Fig. III.4)

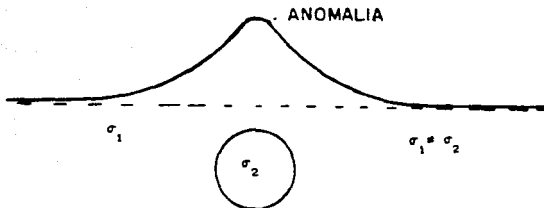
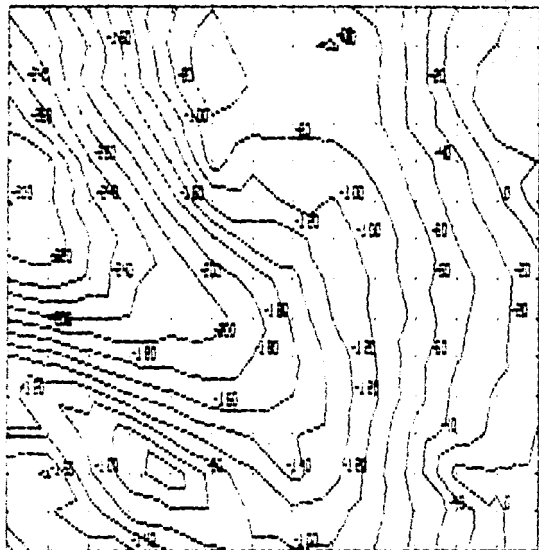


Fig. III.4

Para determinar en un área, la densidad (σ) de fondo, a partir del cuál serán contrastadas las densidades del subsuelo, a fin de obtener la anomalía de Bouguer, se recomienda analizar distintos mapas obtenidos con diferentes

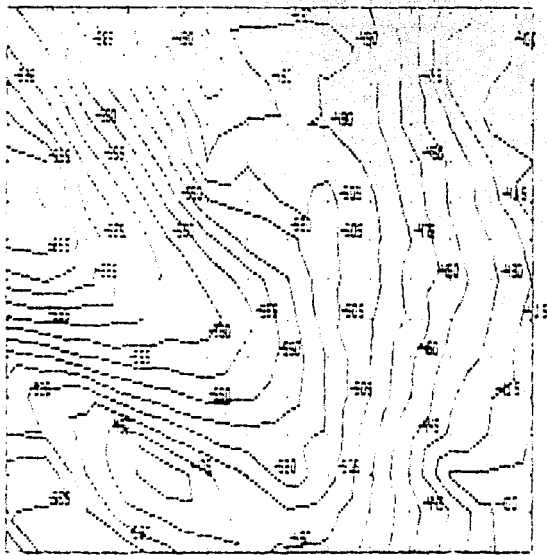
densidades de compensación de placa, y compararlos con el mapa topográfico correspondiente (fig. IV.3); de tal manera que, aquel mapa de anomalía de Bouguer que presente la menor correlación con la topografía, se eligirá como la densidad de compensación de placa para la interpretación subsecuente.

Se muestra a continuación (Fig III.5, III.6, III.7, ..., III.13) un ejemplo para el área de Serdón Puebla, en donde la anomalía de Bouguer se obtiene usando diferentes valores de densidad de compensación para la placa de Bouguer.



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 1.0

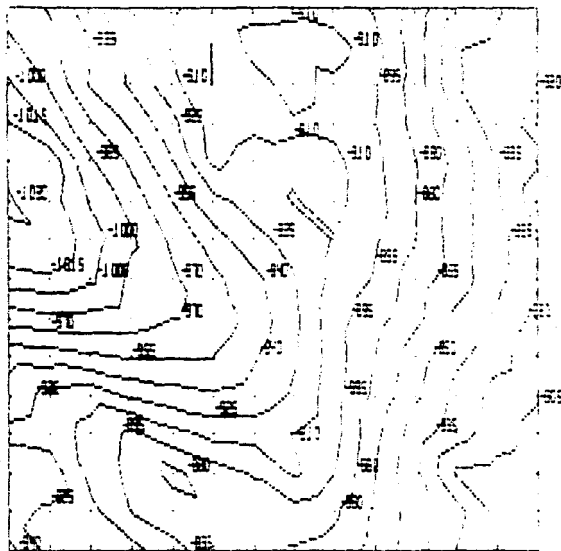
Esc: 1:226115



MAPA DE BOUGLIER CON DENSIDAD CTE. DE 1.4

Ese: 1:226115

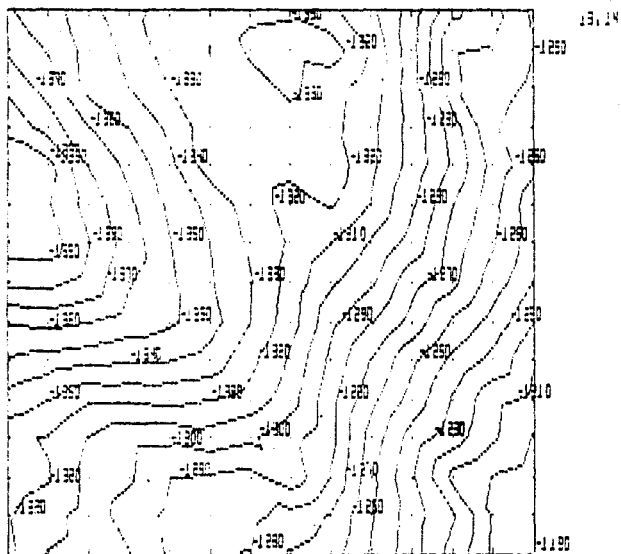
Fig. III.6



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 1.8

Esc: 1:226115

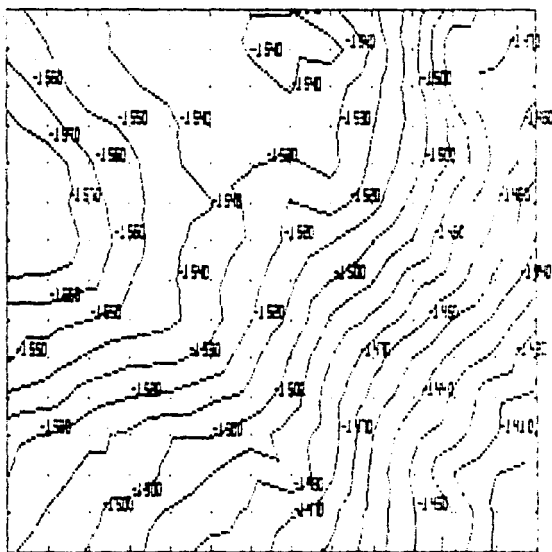
Fig. III.7



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 2.2

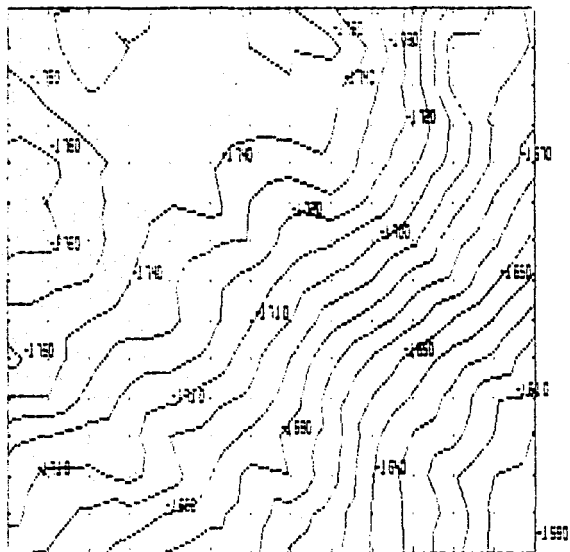
Esc: 1:226115

Fig. 111.8



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 2.4

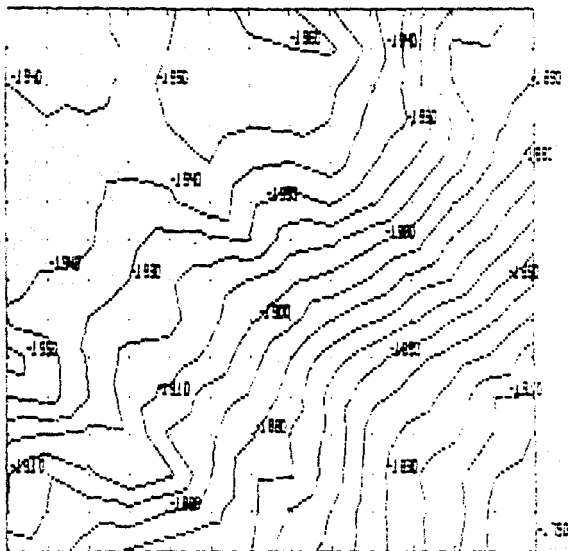
Esc: 1:226115



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 2.6

Esc: 1:226115

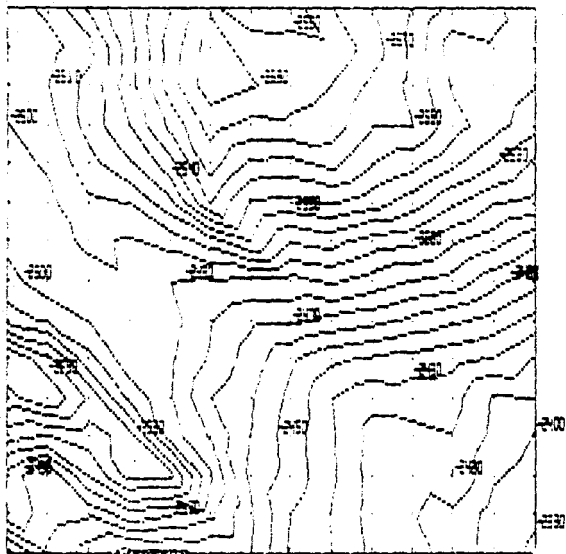
Fig. 111.10



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 2.8

Esc: 1:226115

Fig. III.11

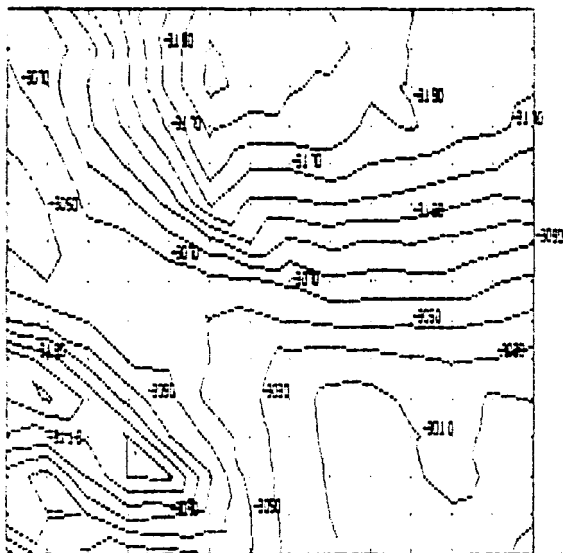


15.14

MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 3.4

Esc: 1:226115

Fig. 111.12



MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD CTE. DE 4.0

Esc: 1:225115

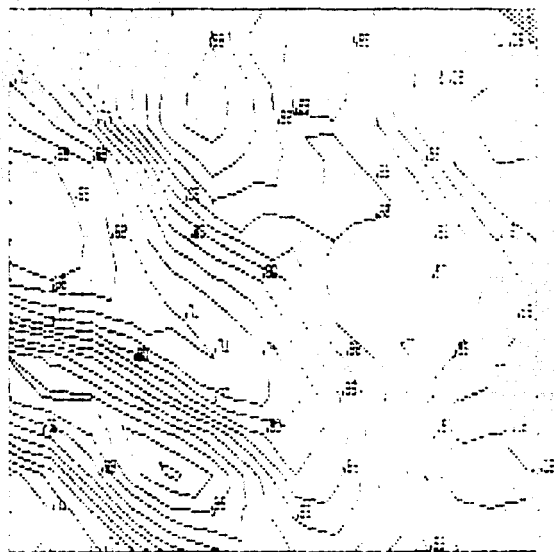
En los mapas anteriores se puede observar las diferentes configuraciones que resultan al utilizar diferentes valores de densidad en la compensación por placa de Bouguer. Que cuando la densidad de compensación es menor a la densidad promedio de 2.4 gr/cm^3 (obtenida de muestras representativas del área), los mapas tienden a correlacionarse con la topografía del área; y cuando es mayor a esta densidad promedio, la tendencia del mapa cambia en algunas zonas, deja de correlacionarse con la topografía del área. Por lo anterior y conociendo además las densidades de las rocas que afloran en el área de estudio, se llegó a seleccionar como la densidad más adecuada (de acuerdo al mapa de la anomalía de Bouguer con menor correlación topográfica), para efectuar la compensación por placa, la densidad de 2.4 gr/cm^3 .

La anomalía de Bouguer es un concepto relativo que depende fundamentalmente de la densidad elegida para la compensación de placa Bouguer, así por ejemplo es posible determinar una distribución de densidad de compensación de placa, tal que haga nulo el valor de la anomalía de Bouguer para cada estación, tal distribución de densidad estará determinada por la ecuación siguiente:

$$g_m = \gamma_t - 3.086h + 0.419\sigma = 0.419\sigma = g_m - \gamma_t + 3.086h =$$

$$\sigma_{\text{prom.}} = \frac{g_m - \gamma_t + 3.086h}{0.419h}$$

La figura III.14 nos representa un mapa con densidad variable para cada estación; si estos valores fueran utilizados para calcular el mapa de anomalía de Bouguer, originaría que dicha anomalía fuera nula.

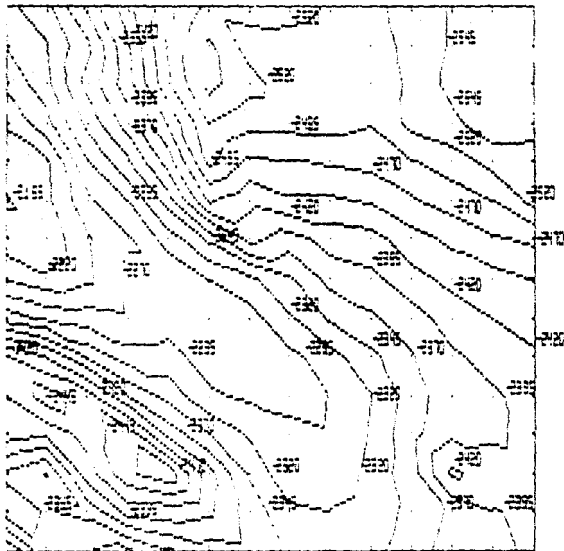


MAPA DE LA DENSIDAD VARIABLE QUE ANULA LA ANOMALIA DE BOUGUER

Esc: 1:226115

Como se puede observar morfológicamente el mapa está correlacionado con la topografía (fig IV.3).

En la figuras siguientes (III.15, III.16, ..., III.18) se muestran ejemplos de mapas de Bouguer obtenidos sumando, restando, multiplicando y dividiendo respectivamente la densidad variable a la densidad de compensación de placa ($\sigma = 2.4 \text{ gr/cm}^3$). Como observamos, la Anomalia de Bouguer así obtenida es el reflejo de la topografía.



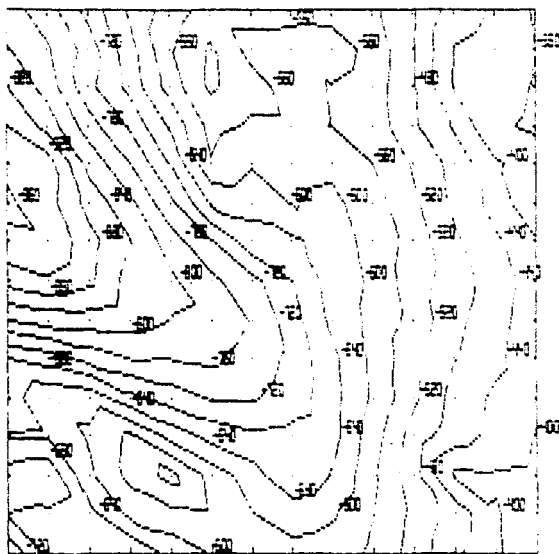
MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD VARIABLE (ADICION)

$$A B = G R - (G T - 3.086 H + 0.419 \sigma^R R)$$

$$\sigma^R = 2.4 + D V$$

Esc: 1:226115

Fig. 111.15



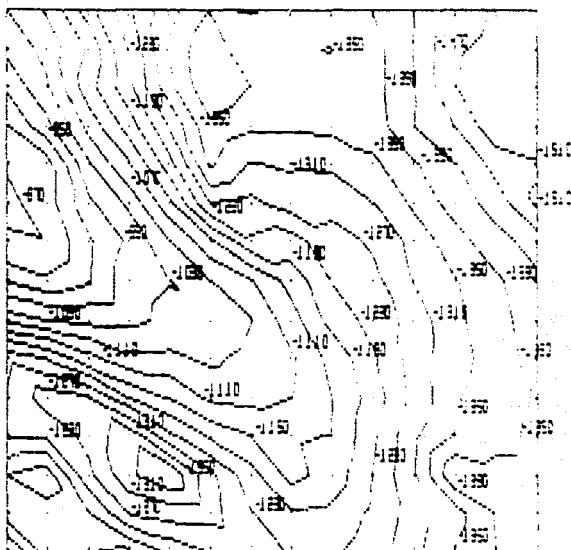
HAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD VARIABLE (SUSTRACCION)

$$A B = CM - (GT - 3.088 M + 0.419 \rho^{\circ} B)$$

$$\rho^{\circ} = 2.4 - BY$$

Esc: 1:226115

Fig. III.16



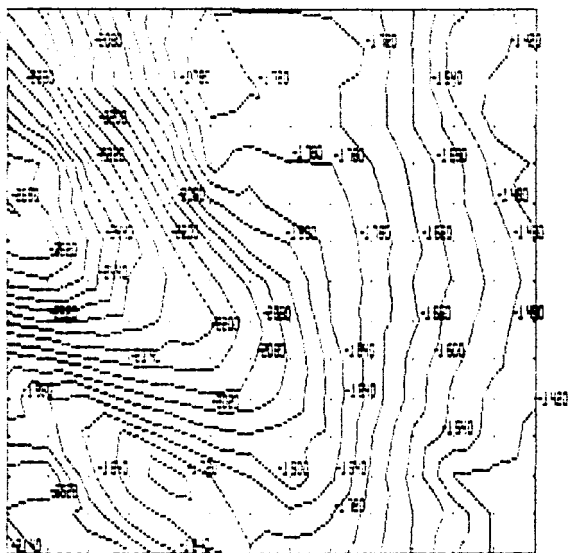
MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD VARIABLE (PRODUCTO)

$$A B = G M - (G T - 3.088 M + 0.419 \sigma^{\circ} M)$$

$$\sigma^{\circ} = 2.4 \cdot D V$$

Esc: 1:226115

Fig 111.17



13, 14

MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD VARIABLE (DIVISION)

$$A B = C H - (G T - 3.088 H + 0.419 \sigma^2 H)$$

$$\sigma^2 = 2.4 / DV$$

Esc: 1:226115

Fig. 111.18

III.10 LOCALIZACION DE LA ANOMALIA

Es importante mencionar, que los valores de anomalía de Bouguer que se obtuvieron después de haber realizado las correcciones, aquí presentado, no están referidos a un plano común; sino que se encuentran sobre las elevaciones variantes de los puntos respectivos de medición (topografía). Por lo tanto es necesario que estos valores sean llevados a un mismo plano de referencia. Esta última compensación no se realizó en este trabajo ya que está fuera del objetivo del mismo (ver tesis de maestría, la continuación horizontal de datos potenciales obtenidos en topografía abrupta, por Alejandro Sandoval Solís, 1990).

En el siguiente capítulo se mostrará por medio de un algoritmo cómo se va integrando la Anomalía de Bouguer.

IV. ALGORITMO Y MAPAS DE LA ANOMALIA DE BOUGUER EN EL AREA DE CIUDAD SERDAN PUEBLA

IV.1 DESCRIPCION DEL ALGORITMO Y SU ESTRUCTURA

El algoritmo aquí presentado, muestra paso a paso las correcciones que se le efectúan a los datos gravimétricos de campo, mostrando mapas de cada una de ellas. La programación es en lenguaje compilado GWBASIC, y consiste de un conjunto de rutinas y subrutinas estructuradas en menús, el equipo esta constituido por una microcomputadora de 640 kbytes de ram, disco flexible y duro, con capacidad gráfica e impresora de matriz.

Se trabajó en la parte de la creación de la rutinas y subrutinas correspondientes a las correcciones gravimétricas, captura y edición de datos, programas de salida para todos los procesos, así como la elaboración de algoritmos de graficación para configurar mapas.

La aplicación de las rutinas se efectuó con los datos proporcionados por la Coordinación de Exploración en el área correspondiente a la hoja E14B55, Cd. Serdán del I.N.E.G.I

Se describe también la metodología seguida para muestrear las rocas en el area de Ciudad Serdan y Tepeaca a fin de determinar la densidad, con el fin de ser usada en la corrección por relieve o topográfico y así poder comparar la influencia de tal corrección sobre los datos gravimétricos.

La estructura del algoritmo esta organizado en menús, en los cuales se tienen las opciones siguientes:

Captura y Edición de Datos
Correcciones Gravimétricas
Graficación de Contornos

IV.2 CAPTURA Y EDICION DE DATOS

Tiene por objeto capturar y editar los datos que requiere el sistema. Para ello se utilizó un procesador de textos (Norton-editor, Wordstar, Edix, Q ó cualquier editor).

Los datos para la obtención del mapa de la anomalía de Bouguer se ajustarán al siguiente formato: No de estación, Coordenada X (Mercator), Coordenada Y (Mercator), Gravedad observada en U.G., Altura de la estación en mts. y Gravedad Teórica en U.G.

IV.3 CORRECCIONES GRAVIMETRICAS EN EL ALGORITMO

El objeto es el de corregir la información generada a fin de analizar secuencialmente las compensaciones efectuadas sobre los datos gravimétricos.

Por ejemplo la elección del programa gravell (ver anexo A), permite al intérprete disponer de una representación gráfica de las siguientes compensaciones:

a).- Mapa de alturas:

$$M H = M h$$

b).- Mapa de gravedad Teórica:

$$G I = G T - 9,780,000.0$$

c).- Mapa de gravedad medida:

$$G M = G T - 9,780,000.0$$

d).- Mapa de compensación por latitud:

$$C L = G M - G T$$

e).- Mapa de compensación de Faye:

$$M F = G T - 9780000 - 3.088(H)$$

f).- Mapa de compensación por placa de Bouguer

$$P B = G T - 9780000 + 0.419(\sigma)(H)$$

g).- Mapa de compensación Mixta

$$M M = G T - 9780000 + 0.419(\sigma)(H) - 3.088(H)$$

h).- Mapa de Bouguer

$$M B = G M - G T + 3.088(h) - 0.419(\sigma)(H)$$

i).- Mapa de Anomalía de Bouguer con corrección por relieve:

$$A B = (G M - G T) + 3.088(H) - 0.419(H)(\sigma) + S C T$$

IV.4 GRAFICACION DE CONTORNOS

El objeto es el de representar en una superficie

bidimensional las compensaciones anteriormente mencionadas.

Lee coordenadas x,y,z, generando un archivo para ser usado posteriormente, a fin de interpolar y calcular una salida. Los datos pueden estar distribuidos aleatoriamente en el área analizada.

IV.5 MEDICIONES Y ESTIMACION DE LA DENSIDAD DE LAS ROCAS

El muestreo de las rocas representativas de las formaciones se llevó a cabo en la zona de Tepeaca, dado al fácil acceso a las formaciones que afloran en esta parte y que también afloran en Cd. Serdan.

Para la recolección, así como para la determinación de la densidad de las rocas que se localizan en el área, se procedió en tres etapas: en la primera se hizo un listado de las unidades que afloran en el área, se registraron los tipos litológicos propios de cada unidad y se seleccionaron, con ayuda de los mapas Geológicos (Fig. IV.A) y Topográfico, los sitios de muestreo de cada unidad en el campo .

En la segunda etapa, se procedió al muestreo programado previamente, así como la revisión de la geología local. Se

hicieron anotaciones relativas a la porción en porcentaje de cada litología en relación al conjunto de cada unidad.

La tercera etapa consistió en la medición en el laboratorio, de las densidades de las muestras colectadas durante la segunda etapa. Dado que las sierras están constituidas por diferentes unidades geológicas y estas a su vez por diferentes tipos litológicos, como ya fué dicho se hizo entonces una evaluación de las proporciones relativas de los componentes litológicos para obtener un valor promedio

MAPA GEOLOGICO

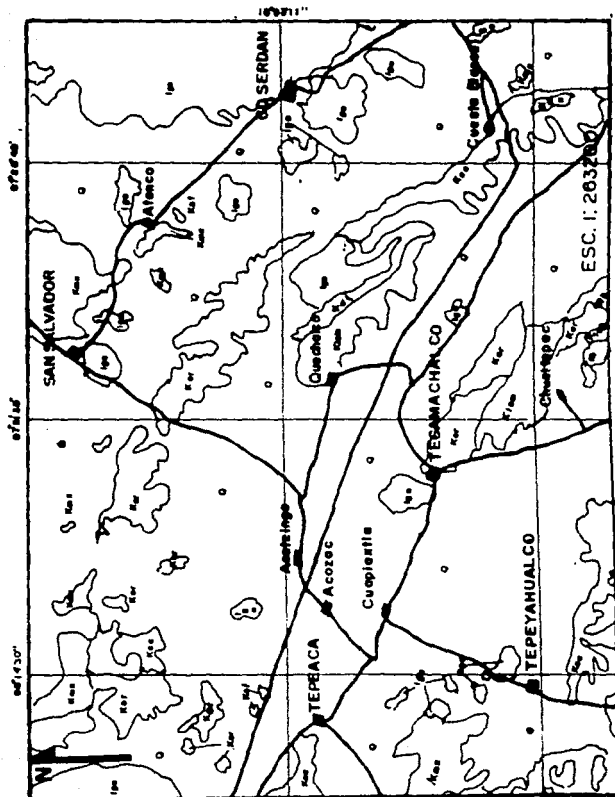


Fig. IV. A

de densidad para cada unidad Geológica.

Los valores finales, estimados para cada una de las formaciones Geológicas que corresponde al área de Cd. Serdán, se presentan a continuación:

UNIDAD GEOLOGICA	DENSIDAD ESTIMADA
QAL	2.04
IGE	2.406
TB	2.105
TTH	2.393
KHX	2.481
KNT	2.504
KOR	2.689
KCC	2.651
KTS	2.669
KISM	2.720

Con los valores anteriores se elaboró un mapa geológico a una escala 1:50000, para ser utilizado en la corrección por el método de Hammer.

IV.8 APLICACION DEL ALGORITMO E INTERPRETACION DE LOS MAPAS

Análisis cualitativo de la aplicación del algoritmo en el área de Cd. Serdán:

La información corresponde a los datos gravimétricos comprendidos en el área de latitud $18^{\circ} 45'$ y $19^{\circ} 00'$ con longitud $97^{\circ} 20'$ y $97^{\circ} 40'$. El número de estaciones fué de 740 por consiguiente la cantidad de información a procesar fué de 4410 datos incluidos en la carta topográfica E14855 del I.N.E.G I..

Para realizar la Corrección Topográfica, utilizando el método de Hammer, se construyó una plantilla en escala 1 : 50000 con anillos que partían desde el anillo E hasta el anillo J haciendo un total de 68 elevaciones promedio y 68 densidades promedio, haciendo un total de 110,640.0 datos.

IV.7 ANALISIS ENTRE MAPAS

La figura IV.1 presenta el mapa de gravedad teórica en U.G., interpolado de los datos originales en una malla de catorce renglones por quince columnas (se ha restado un valor de 9,780,000 U.G.), el intervalo de configuración es de diez unidades gravimétricas. Como se puede observar, en el área de estudio existe un aumento gradual de la gravedad en dirección norte (de aproximadamente 100 U.G. . Además se puede decir que los datos de gravedad teórica interpolados por la brigada gravimétrica, son correctos, tal como se nota en la configuración.

La figura IV.2 muestra el mapa con los valores de la gravedad medida en cada estación, observese que la configuración es muy similar a la topografía, representada en el mapa de alturas (figura IV.3.)

En la figura IV.4 se muestra el mapa de los datos de gravedad medida corregidos por latitud. Se puede observar que existe una fuerte correlación con la topografía del área.

El mapa de corrección por Faye, que se presenta en la figura IV.5 es muy similar a los mapas anteriores. Lo cual implica que el relieve topográfico del área aún no ha sido eliminada completamente (Cabe señalar que los valores de

gravedad que conforman el mapa de Faye, se encuentran sobre la topografía). En la figura IV.6 mostramos el mapa de corrección por Faye suponiendo que la gravedad medida es compensada a fin de situar el valor de la gravedad en un nivel de referencia, que por lo general es el nivel del mar. Observamos que los dos mapas (fig.IV.6 y fig IV.5) cualitativamente presentan poca diferencia en la tendencia de la anomalía, sin embargo los valores de las curvas son muy diferentes, lo cual indica, que evidentemente no es lo mismo, aplicar la compensación de Faye al valor de la gravedad al nivel del Geolde, que compensar el valor de Faye al valor de la gravedad medida en el nivel topográfico.

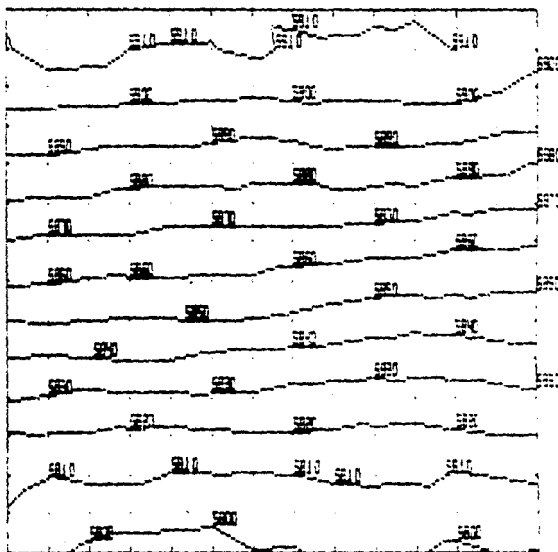
La figura IV.7 muestra el mapa de corrección por placa de Bouguer con una densidad de corrección de 2.4 gr/cm^3 , aplicando sobre la gravedad teórica y la figura IV.8 muestra la misma compensación pero ahora aplicada sobre la gravedad medida. Observamos que cualitativamente la morfología de las configuraciones son similares, sin embargo cuantitativamente son bastante diferentes.

El mapa de compensación mixta (figura IV.9) aplicado a la gravedad teórica difiere notablemente desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, de la misma compensación, pero ahora aplicada a la gravedad medida (fig IV.10), lo cual es indicativo de que no es precisamente lo mismo, considerar que la gravedad medida es llevada a un nivel de referencia (generalmente al nivel del mar), que compensar la gravedad teórica y llevarla a su valor que tendría en el sitio de las estaciones.

El mapa de Bouguer, (figura IV.11) (el cual no ha incluido la corrección topográfica) manifiesta claramente que la tendencia morfológica que se venía observando cambia totalmente, es decir la tendencia topográfica desaparece, (es importante aclarar tal como hemos mencionado anteriormente, que la Anomalía de Bouguer está en el mismo

sitio de la adquisición del dato).

Por último la figura IV.12, que es en sí la anomalía de Bouguer, la cual contempla la corrección por topografía, nos presenta diferencias con la figura IV.11 (mapa de Bouguer) como es la presencia de cuerpos que la topografía del área enmascaraba y que no se observaban en el mapa de Bouguer; además que la tendencia morfológica se modifica ligeramente con la corrección topográfica (como se observa claramente en las figuras IV.13 y IV.14 que son las ventanas de coordenadas (0,0), (7,7) de las figuras anteriores).



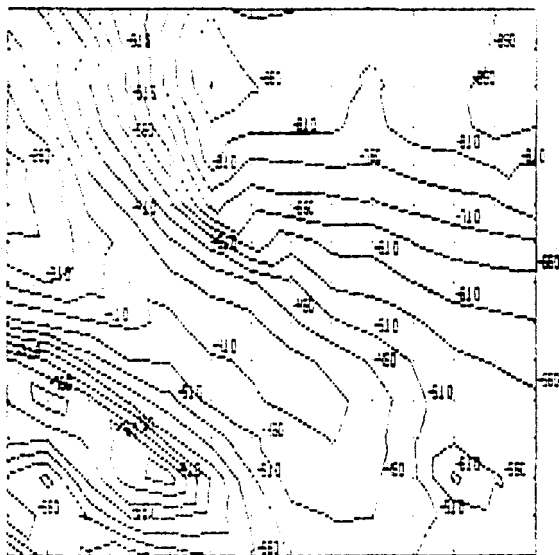
13.2

MAPA DE SERDAN (GRAVEDAD TEORICA) EN U.G.

GT = GT - 9,780,000

Esc: 1:226115

Fig. IV.1



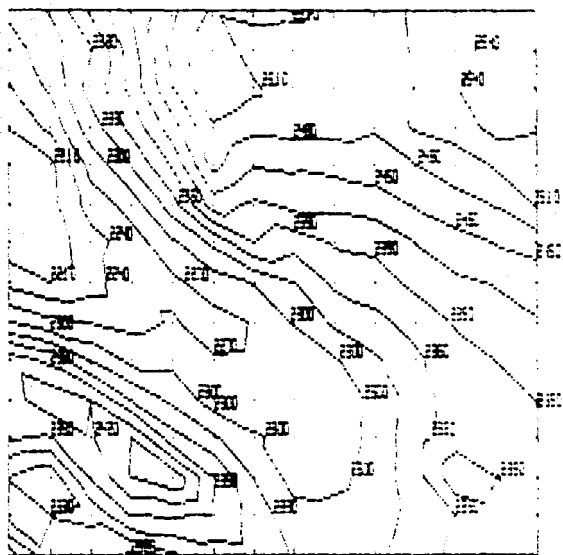
13.15

MAPA DE SERDAN (GRAVEDAD MEDIDA) EN U.G.

CN = CN - 9,780,000

Esc: 1:226115

Fig. IV.2

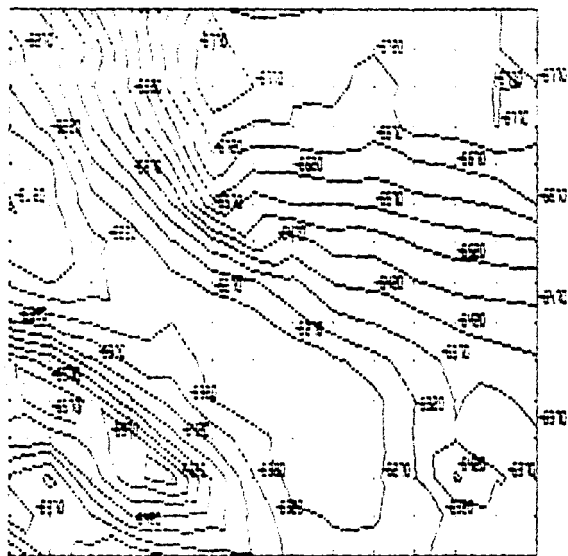


MAPA DE SERDAN (ALTURAS) EN M.

$H = h$

Esc: 1:226115

Fig. IV.3



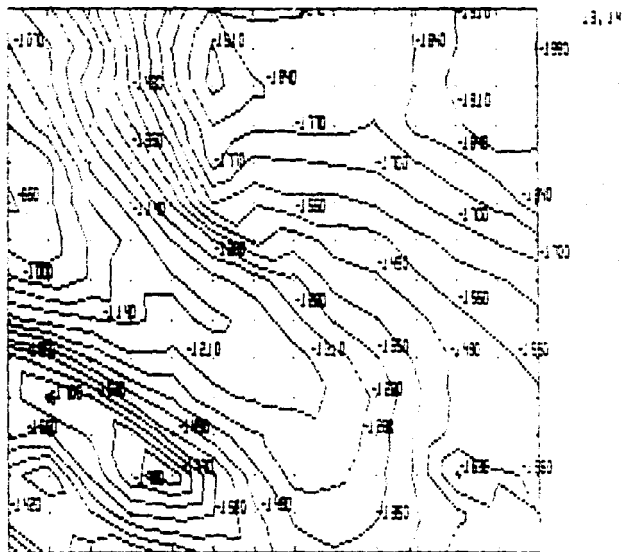
10.19

HAPA DE SERDAN (COMPENSACION POR ALTITUD) EN U.G.

$$C L = C H - C T$$

Esc: 1:226115

Fig. IV.4

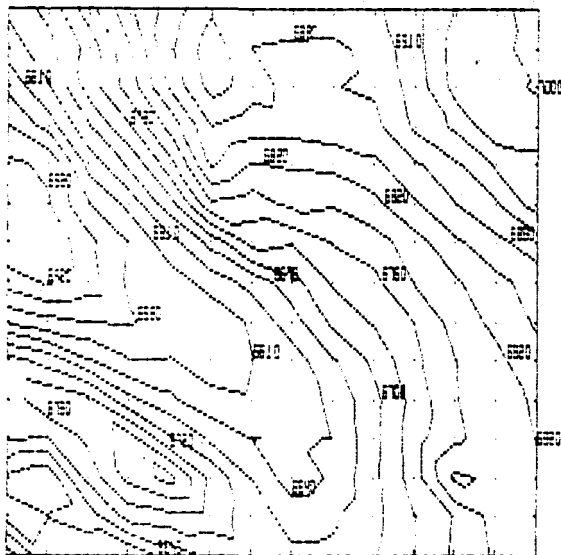


MAPA DE SORDANI (CORRECCION POR FAYE APLICADA A G.T.) EN U.G.

$$C F = G T - 3.088 H$$

Esc: 1-226115

Fig. IV.5



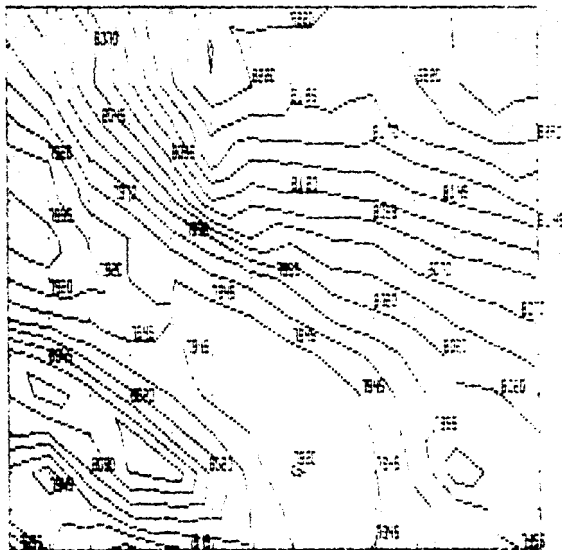
13, 14

MAPA DE SERDAN (CORRECCION DE FAYE APLICADA A G.M.) EN U.G.

$$M F = G M + 3.086 H$$

Ese: 1:228115

Fig. IV.6

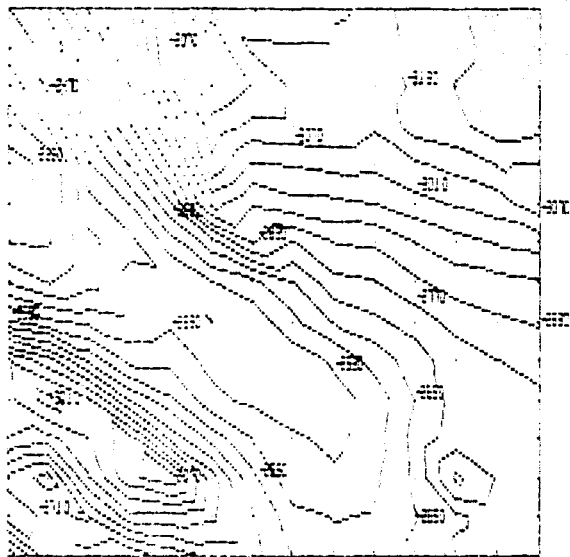


MAPA DE SERDAN (CORRECCION POR PLACA DE BOUGER APLICADA A G.T.) EN U.G

$$C B = G T + 0.419 \sigma H$$

Esc: 1:226111

Fig. IV.7

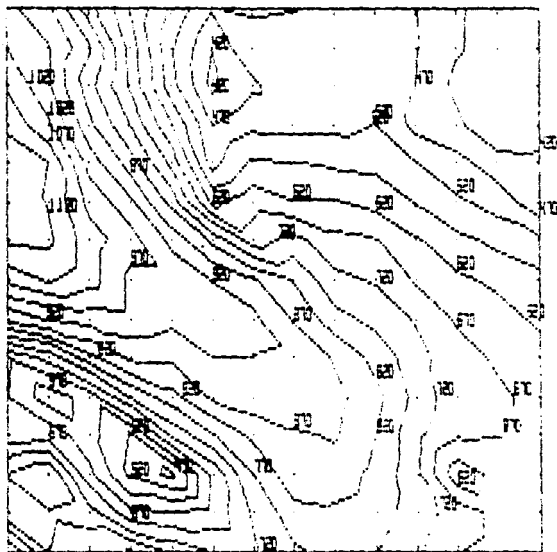


MAPA DE SERDAN (CORRECCION POR PLACA DE BOUGUER APLICADAA G.M.) EN U.G.

$$H P = CN - 0.419 \sigma H$$

Esc: 1.22611E

Fig. IV.8

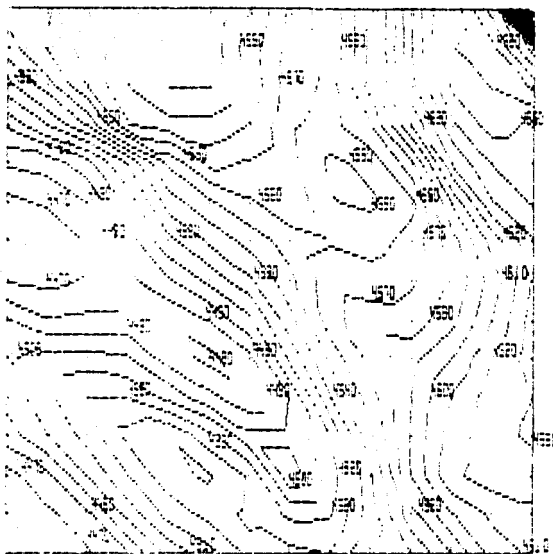


MAPA DE SERDAN (COMPENSACION MIXTA APLICADA A G.T) EN U.G.

$$C.M = G.T - 3.088 H + 0.418 \sigma H$$

Esc: 1:226115

Fig. IV.9



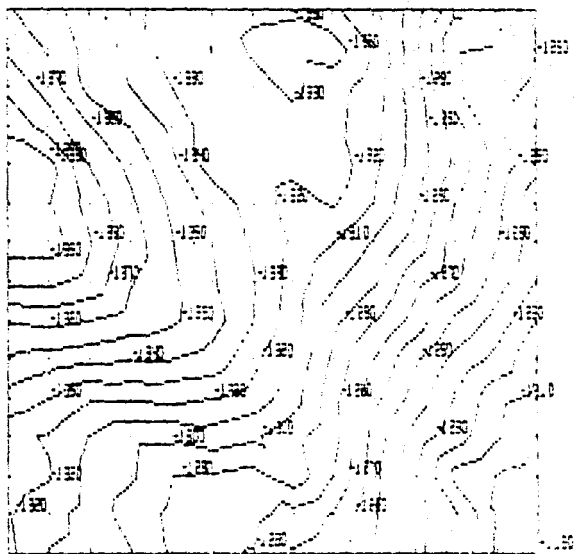
31.4

MAPA DE SERDAN (COMPENSACION MIXTA APLICADA A G.M) EN U.G

$$C.M.G.M = CM + 3.088 H - 0.418 \sigma H$$

Esc: 1:226115

Fig. IV.10

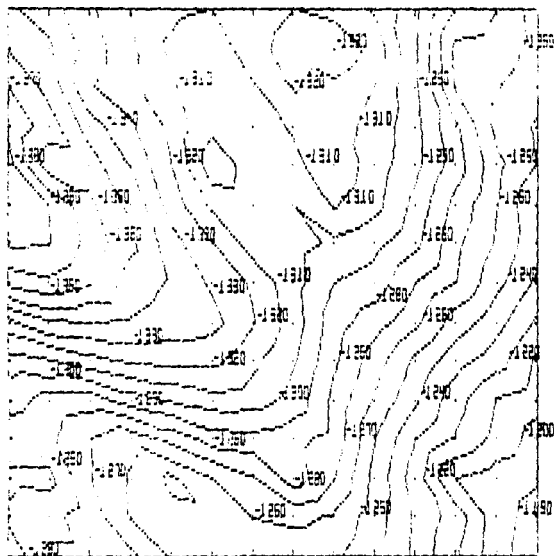


MAPA DE SERDAN (BOUGUER SIN CORRECCION TOPOGRAFICA) EN U.G.

$$M B = C H - C T + 3.086 H - 0.419 \sigma H$$

Esc: 1.225115

Fig. IV.11

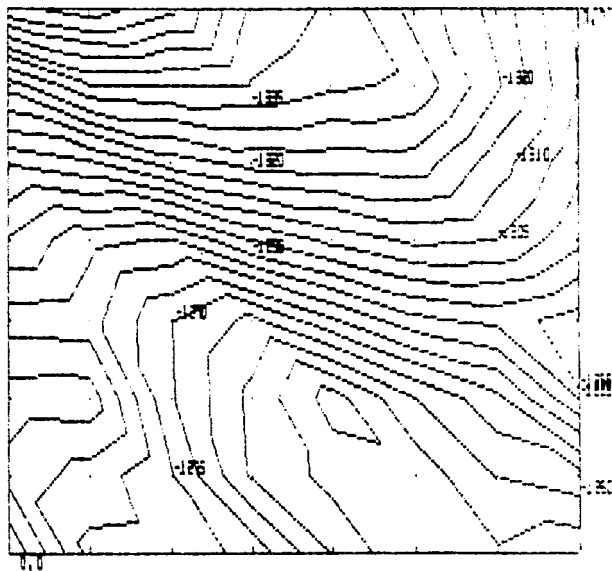


MAPA DE SEROAN (ANOMALIA DE BOUGUER) EN U.G.

$$A B = C H - G T + 3.086 H - 0.419 H \sigma H + S C T$$

Esc: 1:226115

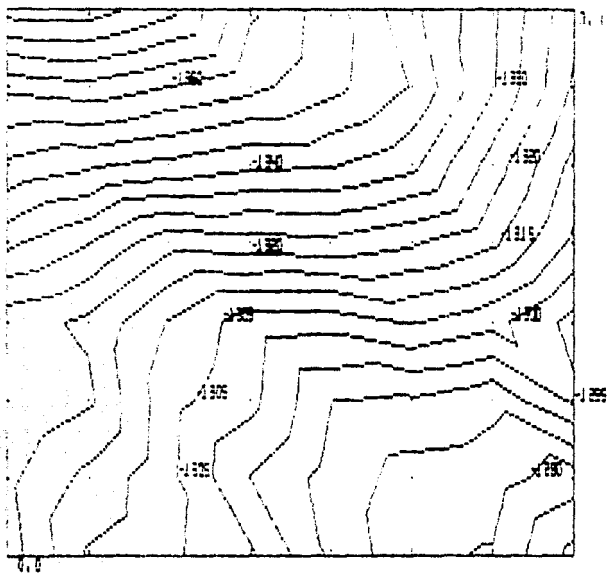
Fig. IV.12



VENTANA INF. IZO. DE LA ANOMALIA DE BOUGUER

Esc: 1:113191

Fig. IV. 13



VENTANA INF. IZQ. DEL MAPA DE BOUGUER SIN CORRECCION TOPOGRAFICA

Esc: 1:113191

Fig. IV.14

V. CONCLUSIONES

De la elaboración de este trabajo se obtienen las siguientes conclusiones:

I.- Es importante visualizar la aplicación gradual de las distintas correcciones, con el fin de que el interprete analice adecuadamente cada una de ellas y las correlacione entre sí, a fin de poder seleccionar posteriormente una zona anómala de datos y checar verdaderamente su existencia ó bien atribuida a un manejo inadecuado de la información.

II.- Se recomienda corregir los datos gravimétricos por topografía, no obstante que la obtención del factor de corrección topográfica sea laborioso; ya que se compensa con el resultado obtenido, debido a que al eliminar la influencia topográfica pueden aparecer anomalías que no se presentaban, así como un cambio en las anomalías residual con lo cual se puede asegurar una mejor interpretación.

III.- Se observó además que el disponer de una densidad representativa de las unidades litológicas correspondiente al área de estudio, se obtiene un factor de correcciones más veráz.

IV.- Al realizar la corrección de Faye y de placa de Bouguer, tanto a la gravedad medida como a la gravedad teórica, observamos que difieren cuantitativamente ambos mapas, pero cualitativamente son semejantes. Al realizar la compensación Mixta (Corrección de Faye más corrección por placa de Bouguer), los mapas difieren cualitativa y cuantitativamente.

V.- Cabe mencionar que los datos ya corregidos se encuentran a la altura topográfica de su estación correspondiente, por lo que se recomienda la nivelación de éstas.

VI. BIBLIOGRAFIA

Abetti Giorgio; 1987; Historia de la Física ;edit. F:C:E., México 1987.

Brandi Purata Juan Marcos; 1989; Notas de clase de Teoría del Potencial,

Cantos Figuerola; 1974; Tratado de Geofísica aplicada edit. Paraninfo; 1974.

De Luna Guzmán Alfredo; 1983; Tesis profesional; UNAM.

Dobrin Milton; 1976 Introduction to Geophysical Prospecting; edit. Mc Graw Hill; New York; 1976.

Edwins Robinson, Canit Coruh; 1989 Basic Exploration Geophysics; edit. Wiley; 1989.

Hammer Sigmund; 1939; Terrain Corrections for Gravimeter Station; Geophysics V.4; 1939.

Hawking Stephen; 1988; Historia del Tiempo; edit. Grijalbo; México; 1988.

I.N.E.G.I. Cartas Topográficas CETENAL.

J.C. D'Arnaud Gerkens; 1988; Foundation of Exploration Geophysics; edit Elsevier; 1988.

Rosello Mario; 1978; Tesis profesional; UNAM.

Sandoval Solís Alejandro. 1978; Tesis Profesional; UNAM

Sears Zemanski; 1978; Física General; edit Agullar; Barcelona; 1978.

Serway R.A.; 1987; Física Tomo II; edit Interamericana; México; 1987.

Sheriff Robert E.; 1978 A First Course in Geophysical Exploration and Interpretation; edit University of Houston; Boston; 1978.

Tejero Andrade Andres; 1989; Notas de Clase de Teoría Electromagnética.

Telford W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff; 1976; Applied Geophysics; edit Cambridge University, Cambridge; 1976.

Wangsness Roald K.; 1983; Campos Electromagnéticos; edit. Limusa; México; 1983.

A P E N D I C E

```

10 * SAVE "C:GRAVEDO",A
20 * ANALISIS DEL CONCEPTO DENOMINADO ANOMALIA DE BOUGUER.
30 * SE REQUIERE UN ARCHIVO DE COORDENADAS CARTECIANAS.
40 CLS
50 SCREEN 0
60 COLOR 15,2,1
70 LOCATE 1,5
80 PRINT "SISTEMA DE PROCESADO DE MAFS POTENCIALES "
90 LOCATE 2,5
100 PRINT "ANALISIS DEL MAPA DE ANOMALIA DE BOUGUER "
110 LOCATE 3,5
120 PRINT "NO CONFEREN LA CORRECCION POR RELIEVE TOPOGRAFICO"
130 LOCATE 4,5
140 PRINT "LA ENTRADA CONSISTE EN INFORMACION DE ESTACIONES DE ACUERDO A:"
150 LOCATE 5,5
160 PRINT "EST.X,Y,GM,H,GT
170 LOCATE 6,5
180 PRINT "EST.X,Y,H :EST:COORDENADAS MERCATOR EN mts.Y ALTURA EN m.s.n.m."
190 LOCATE 7,5
200 PRINT "GT,GM :GRAVEDAD TEORICA Y MEDIDA DE LA ESTACION EN u.g."
210 LOCATE 8,5
220 PRINT "REDUCCION DE FAYE,LATITUD Y DE PLACA DE BOUGUER EN GRAVEDAD MEDIDA "
230 LOCATE 10,10
240 PRINT "PROYECTO PARA PETROLEOS MEXICANOS"
250 LOCATE 12,10
260 PRINT "MAESTRIA EN EXPLORACION DE RECURSOS DEL SUBSUELO"
270 LOCATE 13,15
280 PRINT "FACULTAD DE INGENIERIA ***DEPFI***"
290 LOCATE 15,20
300 PRINT "RESPONSABLES DEL PROYECTO:"
310 LOCATE 16,5
320 LOCATE 17,5
330 PRINT "MARCOS BRANDI PURATA *** EDUARDO RIVAS RUIZ"
340 LOCATE 18,5
350 PRINT "ANDRES TEGERO ANDRALE *** MARIO RUIZ CASTELLANOS"
360 LOCATE 19,5
370 PRINT "ALUMNOS: HECTOR HERNANDEZ CORTES***VICTOR GARCIA ROQUE"
380 LOCATE 21,5
390 COLOR 14,1,14
400 LOCATE 22,20
410 INPUT "PRESIONA ENTER PARA CONTINUAR ",AS
420 CLS
430 OPTION BASE 1
440 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS,CON PATH:",AES
450 INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE SALIDA(SOLO TRES LETRAS):",ASS
460 INPUT "DENSIDAD DE CORRECCION (PLACA DE BOUGUER EN GR/CH/3):",SIGMA
470 *lectura de entrada y salida
480 OPEN "01",#1,ASS
490 OPEN "02",#2,ASS+"MI.DAT"
500 OPEN "03",#3,ASS+"CH.DAT"
510 OPEN "04",#4,ASS+"GT.DAT"
520 OPEN "05",#5,ASS+"CL.DAT"
530 OPEN "06",#6,ASS+"MF.DAT"
540 OPEN "07",#7,ASS+"MP.DAT"
550 OPEN "08",#8,ASS+"MI.DAT"
560 OPEN "09",#9,ASS+"EV.DAT"
570 OPEN "10",#10,ASS+"EV.DAT"
580 *lectura de registro con la informacion
590 FOR J=1 TO 10000
600 IF EOF(J) THEN 840
810 INPUT #1,EST,X,Y,GM,H,GT
#2: X,Y,GM,H,GT

```

640 Z0=H
650 Z1=GM-9780000#
660 Z2=GT-9780000#
670 Z3=GM-GT
680 Z4=Z1-(3.086*H)
690 Z5=Z1-((.419*SIGMA*H)
700 Z6=Z4-((.419*SIGMA*H)
710 Z7=(Z3-3.086*H)/((.419*H)
720 Z8=Z3+3.086*H-.419*(SIGMA*Z7)*H
730 *escritura de registros
740 WRITE #2.X.Y.Z0 'MAPA TOPOGRAFICO
750 WRITE #3.X.Y.Z1 'MAPA DE GRAVEDAD MEDIDA EN U.G. ESCALADO EN 9.78 m.s.
760 WRITE #4.X.Y.Z2 'MAPA DE GRAVEDAD TEORICA EN U.G. ESCALADO EN 9.78 m.s.
770 WRITE #5.X.Y.Z3 'MAPA CORREGIDO POR LATITUD EN U.G.
780 WRITE #6.X.Y.Z4 'CORRECCION DE FAYE EN U.G.
790 WRITE #7.X.Y.Z5 'CORRECCION POR PLACA DE BOUGUER EN U.G.
800 WRITE #8.X.Y.Z6 'MAPA CORRECCION COMBINADA A LA GRAVEDAD MEDIDA
810 WRITE #9.X.Y.Z7 'MAPA DE LA DENSIDAD QUE ANULA LA ANOMALIA DE BOUGUER
820 WRITE #10.X.Y.Z8 'MAPA DE BOUGUER CON DENSIDAD VARIABLE
830 NEXT J
840 CLOSE
850 END

1310 Z/2Z+01+SIGMA00
1320 Z/2Z+01+SIGMA00
1330 Z/2Z+01+SIGMA00
1340 Z/2Z+SIG0
1350 *****
1360 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1370 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1380 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1390 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1400 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1410 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1420 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1430 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1440 FRIN 02.X.Y.ZR MORA DE ARRIOLA
1450 DEEP
1460 DEEP
1470 DEEP
1480 FRIN ***** ATENCION CAMBIO DE ESTACION*****
1490 DEEP
1500 DEEP
1510 FRIN ***** ES EL CAMBIO SECCIONAL DE LA ESTACION DAME DE CONOCISTE
1520 FRIN *****
1530 FRIN ***** EL NUMERO DE ESTACION Y ESTACION ENFER PARA CONTINUARLAS
1540 DEEP

450 Z=Z0+Z90*Y00
640 Z=Z0+Z90*Y00
460 Z=Z0+Z90*Y00
470 Z=Z0+Z90*Y00
680 Z=Z0+Z90*Y00+Z175*Y00*Y00
690 escritura de registros
700 WRITE #5,X,Y,20 MAPA IMPRESION
710 WRITE #5,X,Y,21 MAPA DE GRAVEDAD MEDIA EN U.S. EN ALTIM. EN U.S. A
720 WRITE #5,X,Y,22 MAPA DE GRAVEDAD TEORICA EN U.S. EN ALTIM. EN U.S. A
730 WRITE #5,X,Y,23 MAPA CORREGIDO POR LATITUD EN U.S.
740 WRITE #5,X,Y,24 CORRECCION DE FATE EN U.S.
750 WRITE #5,X,Y,25 CORRECCION POR PLACA DE BOKNER EN U.S.
760 WRITE #5,X,Y,26 MAPA CORRECCION COMBINADA DE LA GRAVEDAD EN U.S.
770 WRITE #5,X,Y,27 MAPA ANOMALIA DE BOKNER
780 NEXT J
790 CLOSE
800 END

Agradezco a todos mis maestros de quienes recibí apoyo y conomiento en el desarrollo de mis estudios y en especial a el M.C. Juan Marcos Brandí Purata por haberme brindado su ayuda en la elaboración de este trabajo además de su amistad.

...Todas las metas se alcanzan al comprometerse con uno mismo....

VICTOR MANUEL GARCIA ROQUE

MEXICO D.F., A 28 DE AGOSTO DE 1981.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente al M.C. Juan Marcos Brandi por su estoicismo para realizar este trabajo y brindarme su amistad

A Dr. Mario Ruiz, Ing. Victor Ramirez, Ing. Guillermo Moedano , MC. Andrés Tejero, por sus comentarios en la verificación de esta Tesis.

A mis Maestros de toda la vida

A mis Amigos que intervinieron de una u otra forma para lograr este trabajo.

HECTOR HUGO