

# Un modelo gravimétrico litosférico para la Subcuenca Lomas de Olmedo (Cuenca del Norte y Noroeste) en la provincia de Salta - Argentina

H. Fraga y A. Introcaso

*Instituto de Física Rosario - Consejo Nal. de Investigaciones, Ciencia y Tecnología - Univ. Nal. Rosario.*

Recibido: 8 de septiembre de 1987; aceptado: 25 de mayo de 1990.

## RESUMEN

Se calcularon los efectos gravimétricos originados por: a) el relleno sedimentario y b) la "raíz" andina, en una sección que atraviesa la Subcuenca Lomas de Olmedo. La anomalía de Bouguer observada fue corregida por ambos efectos, obteniéndose una respuesta gravimétrica residual positiva. Proponemos aquí un modelo gravimétrico litosférico, con una corteza atenuada, coherente con el origen tectónico y estilo extensional de la subcuenca. En él la anomalía residual fue justificada mediante materiales astenosféricos ascendidos a través de la litosfera, hasta alcanzar niveles corticales y además mediante la incorporación de rocas básicas en los términos inferiores de la subcuenca.

**PALABRAS CLAVE:** Cuenca Salteña, Argentina - Modelo litosférico - Gravimetría.

## ABSTRACT

The gravimetric effects originated by: a) the sedimentary filling and b) the Andean "root", in a section that goes through the Lomas de Olmedo Sub-basin, were calculated. A residual positive sharp gravimetric result was obtained after having corrected the observed Bouguer anomaly by both effects. We present here a gravimetric lithospheric model with an attenuated crust which is coherent with the accepted tectonic origin and extensional style of the sub-basin. Therefore, the residual gravimetric result was justified by means of both, the upwelling asthenospheric materials up to the crustal level and the basic rock into the lower term of the sedimentary pack of the sub-basin.

**KEY WORDS:** Salteña basin, Argentina - Lithospheric model - Gravimetry.

## INTRODUCCION

Bianucci y Homoc (1982) propusieron un modelo geométrico y una explicación genética para la cuenca cretácica en los depocentros (subcuencas) de Olmedo, Metán y Alemania (figura 1). Las principales conclusiones que fueron señaladas en dicho trabajo son:

a) Se definió una cuenca formada por un conjunto de depocentros interconectados, cada uno de ellos con ramificaciones que se extienden a partir de un punto común.

b) Se reconocieron abovedamientos regionales, en alguna etapa de su desarrollo, sobre los cuales se enclavó la cuenca.

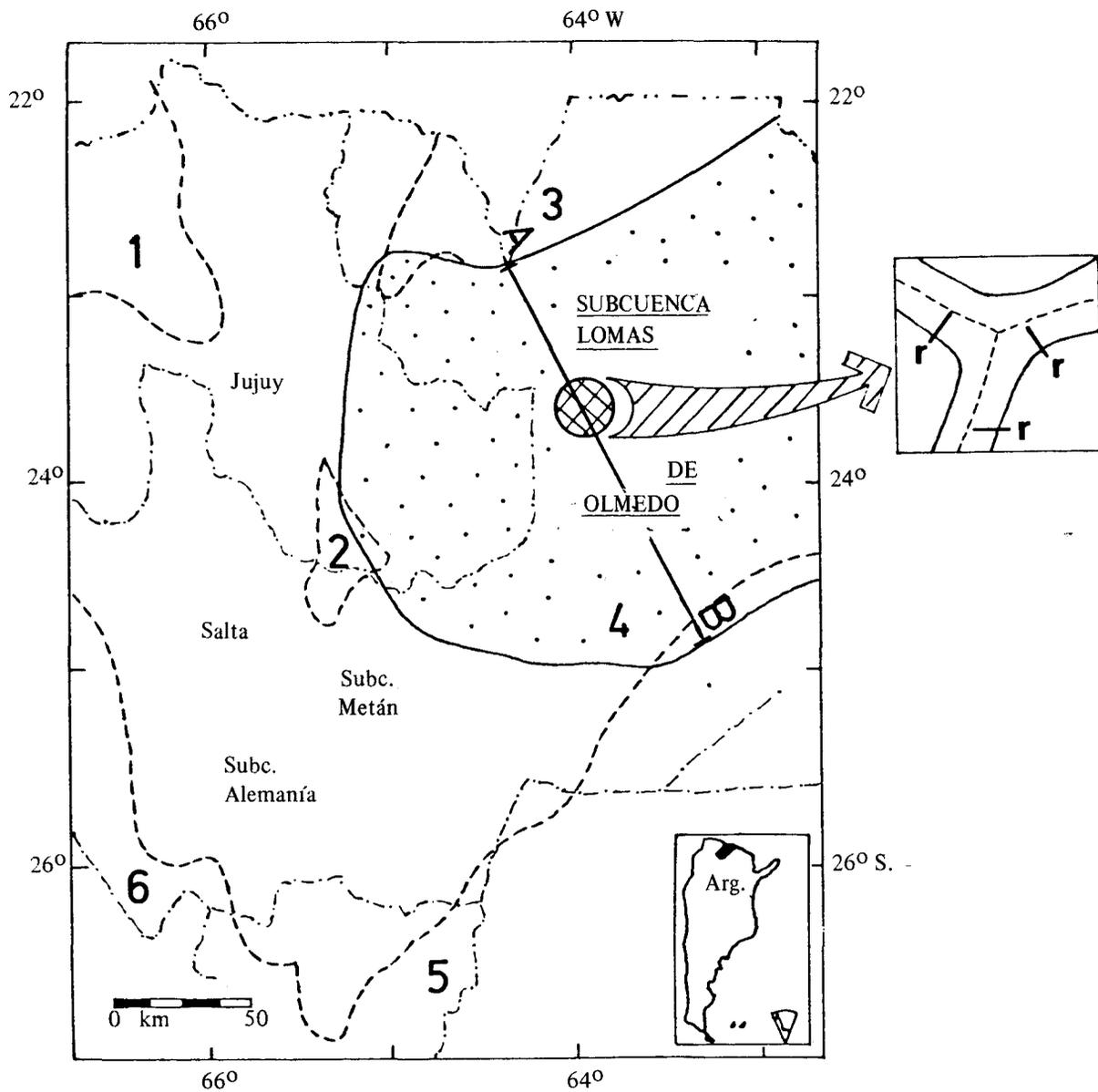
c) Un claro estilo extensional denunciado por la presencia de fallas normales (sintéticas y antitéticas) en gradería, concuerda con un sistema de ruptura trirradiado a partir de un punto común para Olmedo y cuya evolución habría cesado en el Cretácico Superior.

d) Las vulcanitas en el área son predominantemente básicas con asociaciones de piroclastitas (emplazamiento en los puntos comunes de los sistemas de ruptura y en fallas principales).

Este trabajo aporta al estudio anterior interpretaciones basadas en un modelo gravimétrico litosférico según la dirección A-B (figura 1) que señala un probable ascenso de materiales astenosféricos hasta altos niveles litosféricos. La génesis de la subcuenca es congruente con una atenuación cortical, tanto a nivel del Moho como de la discontinuidad de Conrad. Ambas anomalías de masa justifican la mayor parte de la anomalía residual gravimétrica, pero queda aún un residuo que es posible explicar mediante materiales básicos ubicados a profundidades de 3 000 a 5 000 m.

## UBICACION Y GEOLOGIA

La Subcuenca Lomas de Olmedo representa un sector de la Cuenca Salteña o Cuenca del Norte y Noroeste. Presenta una forma alargada con rumbo general NE-SW (figura 1) y el inicio de su apertura se puede situar tentativamente en el Cretácico Inferior o Jurásico Superior (Salfity, 1979). De origen tectónico, responde a un estilo extensional, con un diseño trirradiado en planta, que presenta un mosaico de bloques con subsidencia diferencial y un eje central de máximo hundimiento (Bianucci y Homoc, 1982).



**REFERENCIAS**

\_\_\_\_\_ Borde de la cuenca cretácica.

1 - Dorsal de San Pablo.

2 - Dorsal Salto-Jujeña.

3 - Arco de Michicola.

4 - Arco del Quirquincho.

5 - Arco Pampeano.

6 - Arco Transpampeano Púnico.

A - B Sección a modelar.

Fig. 1. Mapa de ubicación de la Subcuenca Lomas de Olmedo. Basado en Salfity (1982). Detalle de un sistema trirradiado, tipo rrr.

Abarca un basamento precretácico integrado por rocas paleozoicas y un relleno sedimentario representado por:

a) una depositación casi continua desde el Cretácico al Eoceno Inferior, representada por intercalaciones de sedimentitas continentales, marinas y litorales con efusiones basálticas interestratificadas en sus términos basales. En Lomas de Olmedo, perforaciones realizadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), Argentina, atravesaron rocas basálticas (Bianucci *et al.*, 1981); pero las manifestaciones más importantes de este tipo de rocas se localizaron en Formosa, en la zona de Palmar Largo (BIP, 1984).

b) depósitos continentales de alta a baja energía del Eoceno-Plioceno.

En el Terciario Tardío una fase diastrófica de carácter compresivo provoca el plegamiento y fracturación de la secuencia cretácico-terciaria (Salfity, 1982).

Para un tratamiento tectoestratigráfico más detallado sugerimos los trabajos de: Mingramm *et al.*, 1979; Aceñolaza y Toselli, 1981, además de los ya mencionados en el texto.

#### CONFIGURACION Y DETERMINACION DE DENSIDADES EN LA SUBCUENCA

Al iniciar el estudio geofísico de la Subcuenca Lomas de Olmedo se estableció la configuración y el desarrollo vertical de la misma mediante un plano isobático (YPF, Argentina, 1968) figura 2. El plano original (líneas llenas) fue modificado con isobatas supuestas (líneas entrecortadas) con base en inferencias sobre límites y profundidades de la subcuenca. Con esto se logró construir curvas cerradas debido a exigencias de los cálculos posteriores. Esta forma de trabajar no introdujo errores significativos. La densidad ( $\sigma$ ) promedio de la zona se determinó a través del análisis de perfiles sísmicos de refracción realizados por YPF, Argentina, obteniéndose en cada uno de ellos el promedio ponderado de la velocidad por debajo de los 0.5 km de profundidad.

La razón de tomar los valores de velocidad por debajo de dicha profundidad se fundamenta en considerar los sedimentos hasta allí presentes como los normales para la corteza terrestre regional y entonces se eliminan del cálculo. Además, se calculó el promedio ponderado de las velocidades, en los distintos perfiles, considerando a los estratos con un comportamiento semejante al de lasos planas indefinidas. La velocidad promedio para la zona arrojó un valor de 3.42 km/seg.

Como en general la velocidad de las ondas sísmicas está en relación directa con la densidad de los sedimentos que atraviesan, es posible transformar las velocidades en

valores de densidad. Autores como Nafe y Drake (1958), entre otros, propusieron distintas curvas para realizar en forma gráfica dicha transformación. Siguiendo la elección de estudios anteriores de cuencas sedimentarias argentinas (Introcaso y Gerster, 1986; Introcaso y Ramos, en preparación) hemos optado por utilizar la curva de Nafe y Drake (1958) figura 3, obteniéndose una densidad promedio para la subcuenca de 2.32 gr/cc y una densidad de 2.60 gr/cc para el basamento precretácico. Esta última en función de una velocidad promedio de 5.35 km/seg. En consecuencia  $\Delta\sigma$  subcuenca (sedimentos + rocas básicas) - basamento = 2.32 gr/cc - 2.60 gr/cc = - 0.28 gr/cc. La anomalía de Bouguer en el perfil A-B se obtuvo a partir de la carta de Gravedad Relativa Hoja Jujuy (Gerencia de Exploración Geofísica YPF, Argentina) figura 4, que abarca parte de la Subcuenca Lomas de Olmedo.

#### CORRECCION POR EFECTO DEL RELLENO SEDIMENTARIO

Con el propósito de trabajar con una respuesta gravimétrica correspondiente a una corteza normal, definiendo a ésta como la que representa un modelo simple de dos capas, una "granítica" y otra "basáltica", con un espesor total de 33 km (Woollard, 1969), se efectuaron dos correcciones a la anomalía de Bouguer en el perfil A - B.

En primer término se realizó la corrección por efecto del relleno sedimentario, entendiéndose por tal la respuesta gravimétrica que origina la presencia de una cuenca sedimentaria.

Para calcular el efecto del relleno sedimentario, se dividió la zona de trabajo en tres áreas: A, B y C (figura 2) de un número impar de isobatas, para posibilitar la integración numérica (Talwani and Ewing, 1960; Jiménez de la Peña, 1972; Guspí, 1984). Las isobatas asimiladas a poligonales de distinto número de lados fueron tentativamente cerradas por exigencias de cálculo. De esta forma se representó la configuración de la subcuenca por medio de láminas poligonales con espesores de 0.5 km, es decir, igual a la equidistancia de las isobatas, y se empleó un contraste de densidad ( $\Delta\sigma$ ) subcuenca-basamento estimado en -0.28 gr/cc.

Así, se obtuvo la respuesta gravimétrica que originan los materiales presentes en la subcuenca y que representa al denominado efecto del relleno sedimentario. Luego se realizó la corrección de la anomalía de Bouguer por dicho efecto (figura 5). Esta acentuó la configuración de la anomalía de Bouguer en el perfil A-B.

Estimamos que la incertidumbre de esta corrección es levemente superior al 10% (incertidumbres en la

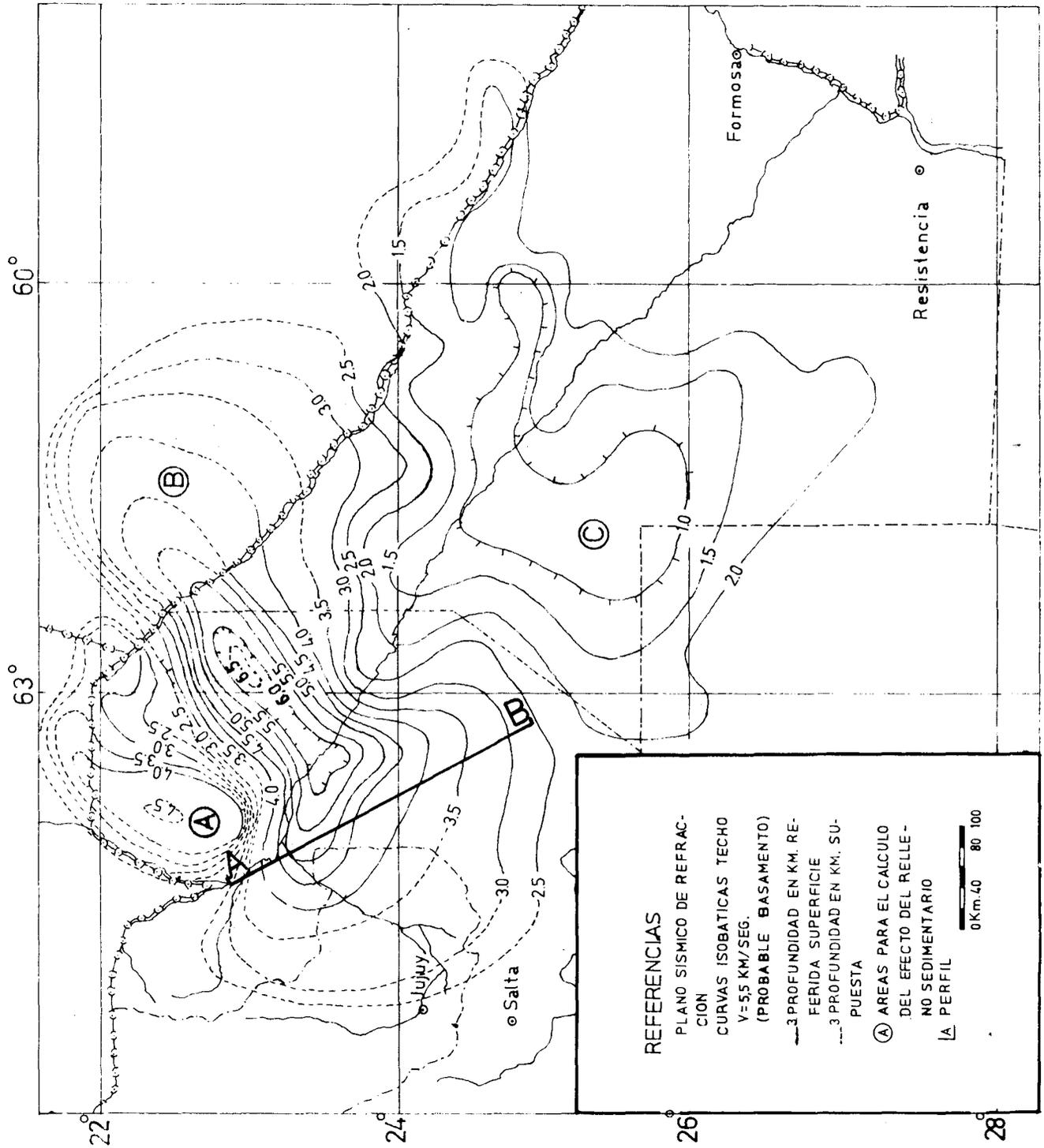


Fig. 2. Isobatas de basamento. Modificado del Plano Sísmico de Refracción Cuencas Sedimentarias - Rep. Argentina, 1968  
 Gerencia de Exploración Geofísica. YPF.

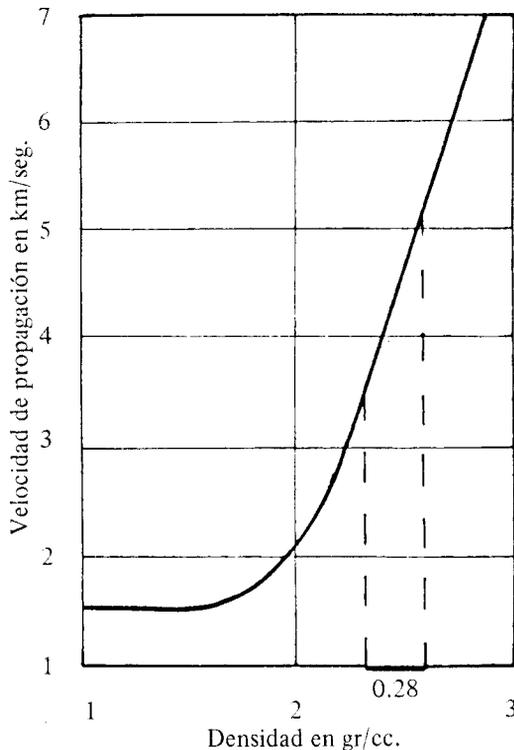


Fig. 3. Curva de Nafe y Drake para el cálculo de las densidades en función de la velocidad de propagación de ondas longitudinales. (Nafe and Drake, 1958).

definición de la densidad diferencial, isobatas de basamento y cota de error de las integraciones numéricas).

#### CORRECCION POR EFECTO DE LA "RAIZ" ANDINA

La influencia que ejerce la "raíz" andina cercana fue calculada por el método gravimétrico directo y corregida de la anomalía de Bouguer. Para realizar el cálculo de este efecto, se trabajó con base en el modelo de corteza presentado por Gerster (1984). La incertidumbre en el cálculo del efecto de la "raíz" andina, atribuible al modelo cortical utilizado, es del 10%.

La anomalía residual, luego de eliminado el efecto del relleno sedimentario y el efecto de la "raíz" andina muestra en la parte central del perfil A-B un "pico" (figura 5), coincidente, en forma aproximada, con el punto de la unión triple propuesto por Bianucci y Homovc (1982). Esto nos hace pensar en la posible existencia de masas anómalas positivas en altos niveles de la corteza.

Además, el análisis de los sismos registrados por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES, comunicación personal), para la zona de Lomas de Olmedo nos permite decir que la subcuenca presenta sismicidad actual tanto profunda (500-600 km) como superficial, que indicaría una reacomodación cortical y sublitosférica con probable repercusión sobre la cuenca.

Braile *et al.* (1982), en la zona de New Madrid (USA), encontraron un antiguo complejo rift trirradiado que presenta actividad sísmica actual y una anomalía gravimétrica regional positiva sobre el punto de unión triple. Las características sismológicas y gravimétricas semejantes de ambas zonas nos permiten sugerir una génesis y una evolución similar.

La prolongación ascendente (Pacino e Introcaso, 1985) de las anomalías de Bouguer y residual, a distintas alturas (H), mostró que para  $H = 13$  km el "pico" tiende a desaparecer, confirmando así el carácter somero del factor responsable del mismo en la respuesta gravimétrica.

#### EL MODELO GRAVIMETRICO LITOSFERICO

Illies (1981), Seidler y Jacoby (1981), Bianucci y Homovc (1982), entre otros, destacan que existen dos mecanismos básicos para explicar el inicio de un "rift". En efecto, una propuesta sostiene un levantamiento cortical o litosférico (doming), tal como fuera sugerido por Closs (1939). Este mecanismo implica un estado de calentamiento desde el manto superior, responsable del ulterior fallamiento normal en la corteza superior.

La otra propuesta se basa en las ideas de Vening Meinesz (1950). En ella se sostiene la formación de grabens por esfuerzos extensionales que, al provocar un profundo fallamiento directo, crea las condiciones para el descenso de bloques frágiles de la corteza.

Estos dos mecanismos, sin embargo, no son fáciles de distinguir, dado que primariamente la distensión puede inducir un flujo ascendente desde la litosfera, calentamiento y doming. Este último puede originar un estado de tracción (distensión) cerca de la superficie. En consecuencia, es difícil realizar una predicción hacia el pasado, a partir de etapas evolutivas posteriores, separando causas y efectos.

Bianucci y Homovc (1982) se inclinan por considerar para Lomas de Olmedo un triple rift (rrr) que ubican en el mecanismo que produce abovedamiento ante una anomalía térmica (exceso de calor) emplazada en el manto superior. Producido el doming, sobrevinieron rupturas radiales a partir de un punto común. Se

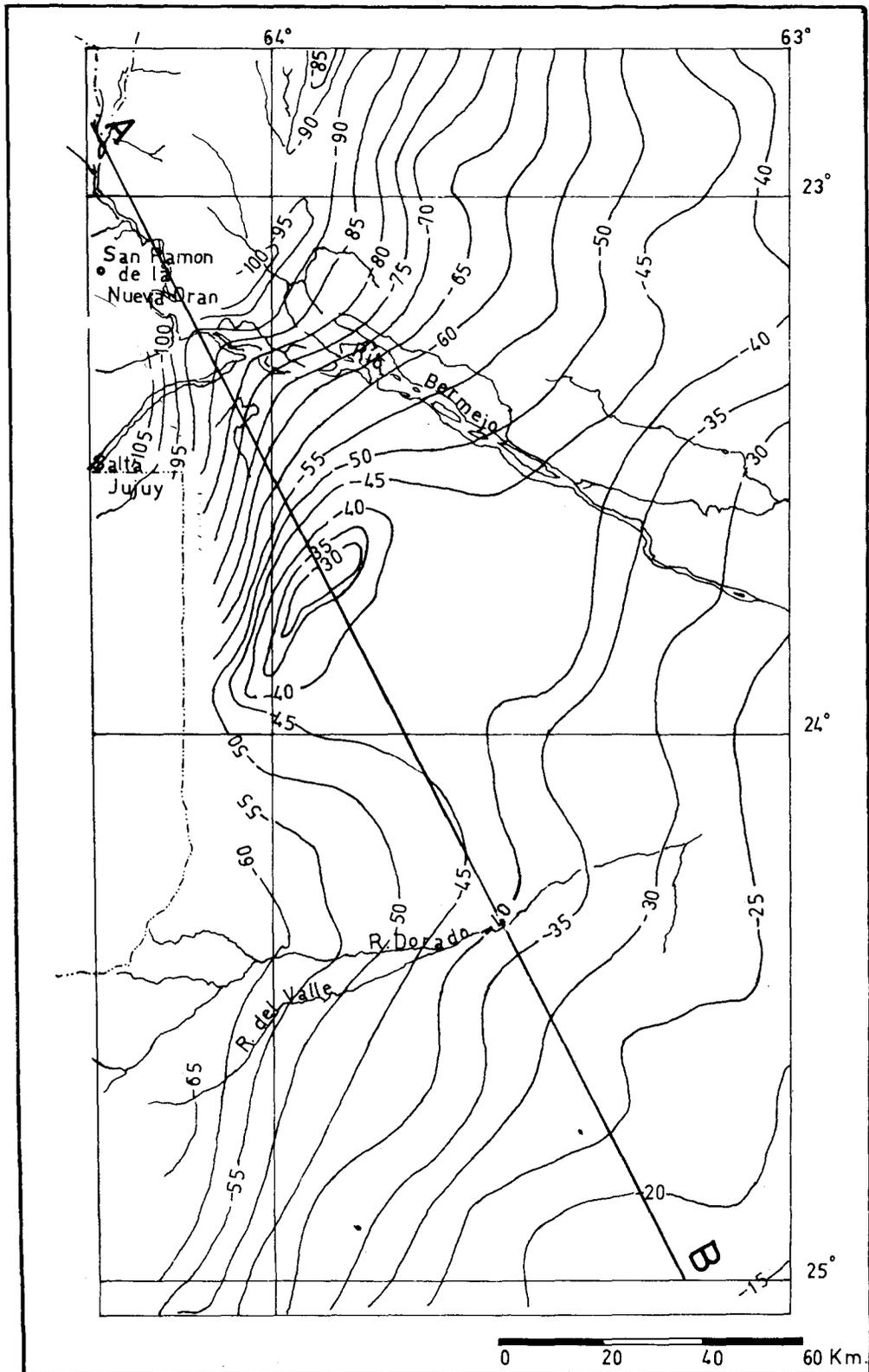


Fig. 4. Mapa de Anomalías de Bouguer, en mGals, correspondiente a la Subcuenca Lomas de Olmedo. Basado en la Hoja Jujuy (YPF), Argentina; relevamiento en malla.

desarrollaron así fallamientos normales que favorecieron tanto la extensión como el volcanismo básico por conductos de fallas.

Según Bott (1981), en ambas manifestaciones, los puntos calientes juegan un papel decisivo, señalando también que la litosfera ubicada sobre éstos puede ser calentada por conducción o también puede ser "perforada" por magma ascendido, en cuyo caso la corteza puede atenuarse en un tiempo relativamente corto. Siempre de acuerdo con Bott (1981), sin actividad ígnea, la distensión quedaría limitada a fallamiento normal; con actividad ígnea, por ejemplo, por intrusión de diques, la distensión se incrementa significativamente.

Los puntos calientes estarían vinculados a inestabilidad en pequeña escala (Yuen y Peltier, 1980; Artyushkov, 1983) de la discontinuidad núcleo-manto. En efecto, confirmando estas ideas, los estudios sismológicos han mostrado significativas anomalías de velocidad en la zona núcleo-manto sobre porciones de 150 km de ancho (Sacks *et al.*, 1979).

El modelo gravimétrico aquí propuesto es congruente con estas ideas. La configuración de la anomalía residual nos lleva a pensar en un origen relacionado con la presencia de materiales astenosféricos ascendidos a niveles corticales. Sin embargo, y como se desarrollará luego, un modelo de este tipo por sí solo sería insuficiente para justificar "el pico" de la anomalía residual (figura 5). Entonces, en función de los datos de las perforaciones realizadas en Lomas de Olmedo, proponemos un modelo que presenta además efusiones basálticas interestratificadas (diques y sill) en los términos basales de la subcuenca.

Se supone que en la litosfera penetraron materiales astenosféricos, en forma de cuña vertical. Estos alcanzaron niveles de fondo de corteza. Allí provocaron una atenuación cortical al liberarse tensiones en la corteza inferior dúctil, ante el estado expansivo existente, para luego producirse la fracturación de la corteza superior frágil, con subsidencia diferencial de los bloques que determinan la formación de la subcuenca. Esta intensa fracturación facilitaría además el ascenso de materiales basálticos.

Se presentan dos alternativas de un modelo teórico con sus respectivas respuestas gravimétricas, figura 6, para justificar la anomalía residual. Las masas anómalas implícitas en el modelo son tridimensionales. Por ello, las inversiones se realizaron utilizando programas de computación que calculan efectos gravimétricos de estructuras tanto paralelepípedas como poliédricas, definidas en X, Y, Z, e incluyen algoritmos que incrementan la velocidad de convergencia (Guspí *et al.*, 1987; Huerta, 1982).

Luego de realizar varios ensayos utilizando cuerpos poliédricos y bloques paralelepípedos de base rectangular que presentan su mayor extensión en sentido perpendicular al perfil A-B, en coincidencia con el eje de la cuenca, hemos optado por estos últimos para asimilar a los materiales anómalos ascendidos, dado que con ellos nuestros algoritmos de cálculo logran los mejores ajustes entre las anomalías residual y calculada (figura 6). Todas las formas de las masas anómalas en corteza y manto superior fueron suavizadas, evitando la rigidez de los bloques paralelepípedos utilizados.

Además, la presencia del edificio andino ubicado hacia el oeste trae como consecuencia un engrosamiento cortical en el área, tanto a nivel del Moho, como de la discontinuidad de Conrad. Estos efectos también fueron considerados en el modelo propuesto.

### DENSIDADES DEL MODELO

Por no disponer de datos sísmicos sub-basamentales ni de datos petrológicos, la elección de densidades en niveles de corteza inferior, litosfera y sublitosfera está basada en datos de diferentes autores como Seidler y Jacoby (1981); Bridwell y Potzick (1981); Bott (1981); Zorin (1981) e Introcaso y Ramos (en preparación), entre otros. Por ejemplo, Zorin (1981) señaló para el rift del Baikal un manto anómalo subcortical (materiales astenosféricos incluidos en litosfera) con densidades diferenciales del orden de -0.03 gr/cc a -0.05 gr/cc.

Para los materiales básicos propuestos en Lomas de Olmedo se adoptó una densidad promedio de 3.00 gr/cc (máxima discrepancia entre densidades muestreadas: 1.3% en basaltos olivínicos, ruta Salta-Cafayate).

Debemos aclarar que las muestras utilizadas para la determinación de esta densidad no pertenecen exactamente a la subcuenca, pero sí están dentro de la cuenca cretácica y es por ello que se las tomó como referencia.

Además, conviene señalar que para la Cuenca Paranaense, Introcaso y Gerster (1986) encontraron para los basaltos de Sierra Geral valores medios que oscilan entre 2,8 gr/cc y 2,9 gr/cc. Anteriormente Leinz (1949) informó densidades de 2,5 y 2,6 gr/cc para basaltos en la parte superior de la corteza hasta una profundidad de 900 m y de 2,9 gr/cc para profundidades mayores.

Los materiales básicos en Lomas de Olmedo estarían entre los 3 000 y 5 000 m de profundidad; entonces, de acuerdo con las consideraciones anteriores y las densidades determinadas en las muestras, parece razonable suponer para ellos el valor de 3.00 gr/cc.

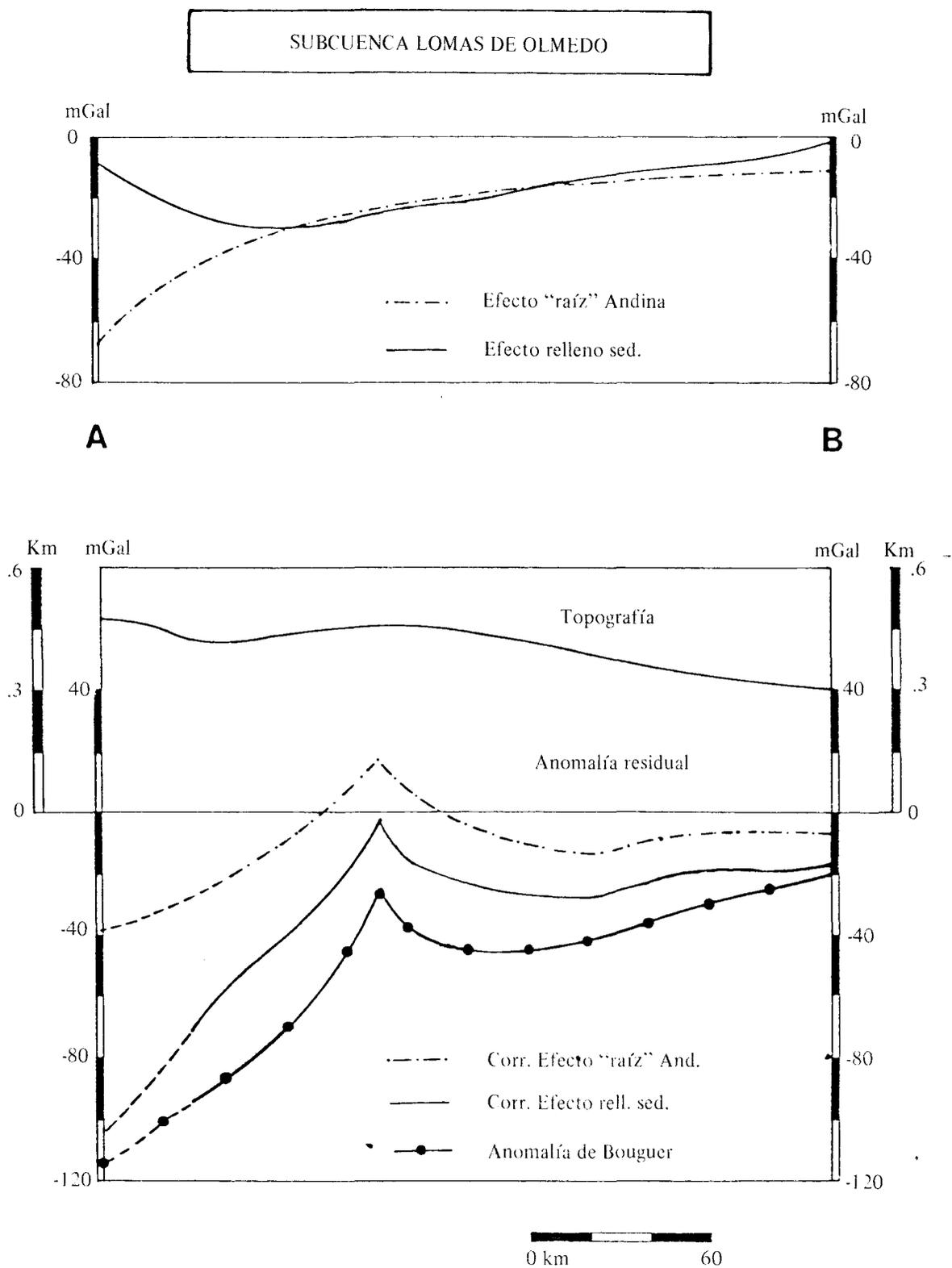


Fig. 5. Perfil Gravimético A - B. Anomalía de Bouguer y sus correcciones. Topografía. Efectos del relleno sedimentario y de la "raíz" andina.

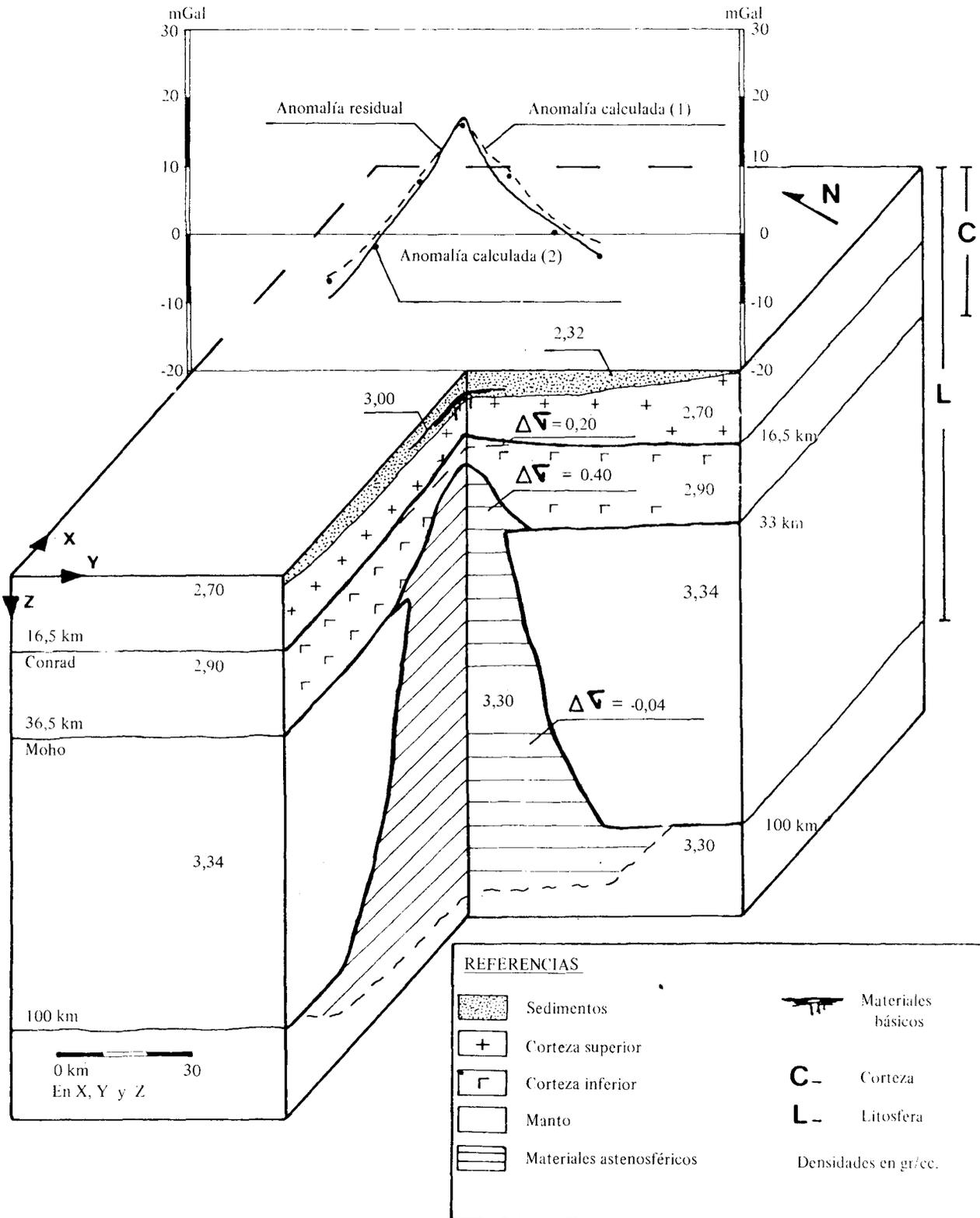


Fig. 6. Diagrama bloque que muestra la litosfera anómala por debajo de la Subcuenca Lomas de Olmedo. En la parte superior las anomalías residual y calculada para (1) litosfera = 100 km y (2) litosfera = 80 km.

Para las dos alternativas del modelo (figura 6), espesor litosférico de 100 y 80 km, respectivamente, se adoptaron los siguientes valores:

Modelo 1:

Espesores:

Corteza normal: 33 km  
 capa superior "granítica": 16.5 km  
 capa inferior "basáltica": 16.5 km  
 Litosfera normal: 100 km

<u>Densidades</u>	$\sigma$ gr/cc	$\Delta\sigma$ gr/cc
Materiales básicos	3.00	
Corteza: superior	2.70	0.30
inferior	2.90	0.20
Manto (litosfera inferior)	3.34	0.40(*)
Materiales astenosféricos	3.30	-0.04

(\*)  $\Delta\sigma$  en la "cuña cortical" (antirraíz).

Modelo 2

El espesor litosférico normal se estimó en 80 km. El ajuste ulterior, con este nuevo espesor, determinó un redimensionamiento del engrosamiento cortical superior y de los materiales básicos, manteniéndose las densidades y espesores restantes iguales a aquéllos que se adoptaron en el modelo anterior.

Los resultados hallados a través del modelo gravimétrico litosférico para Lomas de Olmedo se presentan en un esquema generalizado (figura 6).

**CONCLUSIONES**

Luego de eliminar los efectos gravimétricos originados por el relleno sedimentario de la subcuenca y por la "raíz" andina cercana, la anomalía residual, en coincidencia con el punto de unión triple, se hace positiva y exhibe un importante "pico", independientemente de las incertidumbres señaladas para las correcciones.

Proponemos para el momento de formación de la subcuenca un modelo que involucra a una litosfera anómala sobreyacida por una corteza atenuada debido a la existencia de un punto caliente que implica:

I - Ascenso de materiales astenosféricos, en forma de "penacho" que se alojaron en niveles corticales.

II - Abovedamiento superficial y atenuación cortical.

III - Inicio del rift intracontinental tipo rrr a partir de un punto común, conjuntamente con la efusión de rocas basálticas.

IV - Formación de depósitos sedimentarios ante la subsidencia que se prolonga en el tiempo por enfriamiento y carga de los sedimentos.

El modelo gravimétrico justifica una parte de la anomalía residual positiva mediante los efectos de la atenuación cortical (que balancean y sobrepasan a los efectos negativos de los materiales astenosféricos ascendidos) y el resto mediante efectos provenientes de los materiales básicos en los términos inferiores de la subcuenca. Los interrogantes propios de la gravimetría sin apoyo de otros datos (por ejemplo, sísmica profunda) determinan que la discusión sobre el modelo aquí propuesto quede abierta a la espera de resultados complementarios.

**AGRADECIMIENTOS**

A YPF, Argentina y al INPRES por brindar los datos necesarios para la realización del presente trabajo. Al Dr. Víctor Ramos por las sugerencias aportadas. Al CAPLI (CONICET) subsidio C 002102 por el respaldo económico.

**BIBLIOGRAFIA**

ACEÑOLAZA, F. G y A. J. TOSELLI, 1981. Geología del Noroeste Argentino. Publ. esp. Fac. Cienc. Naturales, Univ. Nac. Tuc. No. 1287, p. 212.

ARTYUSHKOV, E. V., 1983. Geodynamics, 312 pp., Ed. Elsevier. Developments in Geotectonics. 18.

BIANUCCI, H. A., O. M. ACEVEDO y J. J. CERDAN, 1981. Evolución tectosedimentaria del Grupo Salta en la Subcuenca Lomas de Olmedo (Prov. de Salta y Formosa). VIII Congr. Geol. Arg. Actas III, 159-172.

BIANUCCI, H. A. y J. F. HOMOVC, 1982. Tectogénesis de un sector de la cuenca del Subgrupo Pirgua. Quinto Congr. Latinoamer. de Geol. Actas 1: 539-546.

BOLETIN DE INFORMACIONES PETROLERAS (BIP), 1984. Palmar Largo: El Petróleo de Formosa. 2, 107-112.

- BOTT, M. H. P., 1981. Crustal doming and the mechanism of continental rifting. *Tectonophysics*, 73, 1-8.
- BRAILE, L. W., G. R. KELLER, W. J. HINZE y E. G. LIDIÁK, 1982. An ancient rift complex and its relation to contemporary seismicity in the New Madrid seismic zone. *Tectonics*, 1, 2, 225-237.
- BRIDWELL, R. J. y POTZICK, 1981. Thermal regimes, mantle diapirs and crustal stresses of continental rifts. *Tectonophysics*, 73, 15-32.
- CLOSS, H., 1939. Hebung. Spaltung. Vulkanismus. *Geol. Rundsch.*, 30 (Zwischenheft 4 A), 404-527.
- GERSTER, R. L., 1984. Investigación gravimétrica de parte del Noroeste Argentino. 41 pp. Publ. Instituto de Física, Rosario.
- GUSPI, F., 1984. Cálculo de efectos gravimétricos de estructuras tridimensionales mediante integración numérica de láminas poligonales horizontales. Inédito. Archivo de Geofísica. U. N. R.
- GUSPI, F., A. INTROCASO y E. HUERTA, 1987. Calculation of gravity effects of tridimensional structures by analytical integration of a polyedric approximation and application to the inverse problem. *Geofis. Int.*, 26, 3, 407-428.
- HUERTA, E., 1982. Programa de computación para el cálculo del efecto gravimétrico de bloques tridimensionales. Inédito. Archivo de Geofísica. U. N. R.
- ILLIES, J. H., 1981. Mechanism of graben formation. *Tectonophysics*, 73, 249-266.
- INTROCASO, A. y R. GERSTER, 1986. La cuenca Paranaense. Influencia de los basaltos en la interpretación gravimétrica. *Geofis. Int.*, 25, 3, 403-422.
- INTROCASO, A. y V. A. RAMOS (en preparación). Modelos corticales de los aulacógenos del Salado y Colorado (título provisorio).
- JIMENEZ DE LA PEÑA, 1972. Cálculo automático de la anomalía gravimétrica causada por estructuras de tres dimensiones. *Revista Geofísica*, 31, 199-210.
- LEINZ, V., 1949. Contribuição á Geología dos derrames basálticos do Sul do Brasil. Univ. de São Paulo, Fac. de Fil. Cienc. e Lit., Bol. 103 (Geol. 5).
- MINGRAMM, A., A. RUSSO, A. POZZO y L. CAZAU, 1979. Sierras Subandinas, in Seg. Simp. Geol. Reg. Arg. Acad. Nac. Cienc. 1, 95-137.
- NAFE and DRAKE, 1958. (Inédito) ver Grant-West 1965. "Interpretation Theory of Applied Geophysics". Fig. 7-7, 200 pp. Mc Graw Hill Book Company.
- PACINO, M. C. y A. INTROCASO, 1985. Prolongación ascendente de campos potenciales en el dominio espacial. *Geoacta* 13, 1, 253-265.
- SACKS, I. S., J. A. SNOKE y L. BEACH, 1979. Lateral heterogeneity at the base of the mantle revealed by observations of amplitudes of PKP phases. *Geophysics. J. Roy. Astron. Soc.* 59, 379-387.
- SALFITY, J. A., 1979. Paleogeología de la Cuenca del Grupo Salta (Cretácico-Eogénico) del norte de Argentina. Sep. Congr. Geol. Arg. I, 505-515.
- SALFITY, J. A., 1982. Evolución Paleogeográfica del Grupo Salta (Cretácico-Eogénico) Argentina. Actas Quinto Congr. Latinoamer. de Geol. 1, 11-26.
- SEIDLER, E. y W. R. JACOBY, 1981. Parameterized rift development and upper mantle anomalies. *Tectonophysics* 73, 53-78.
- TALWANI, M. y M. EWING, 1960. Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape. *Geophysics* XXV, 1, 203-225.
- VENING MEINESZ, F. A., 1950. Les graben africains, résultat de compression ou de tension dans la croûte terrestre? *Bull. Inst. R. Colonial Belge*, 21, 539-552.
- WOOLLARD, G. P., 1969. Regional Variations in Gravity in the Earth's Crust and Upper Mantle. Editor Pembroke J. Hart, 320-341.
- YUEN, D. A. y W. R. PELTIER, 1980. Mantle plumes and the thermal stability of the D" layer. *Geophysical Research Letters* 7, 625-628.
- ZORIN, Yu. A., 1981. The Baikal rift: an example of the intrusion of asthenospheric material into the lithosphere as the cause of disruption of lithospheric plates. *Tectonophysics* 73, 91-104.
- 
- H. Fraga y A. Introcaso  
IFIR, CONICET, UNR  
Av. Pellegrini 250  
2000 Rosario, ARGENTINA.