

GRAVEDAD EN UNA SECCION TRANSCONTINENTAL E-W EN LAS PROXIMIDADES
DEL PARALELO 37° DE LATITUD SUR

Antonio Nocioni⁺ - Antonio Introcaso^{+*}

⁺Instituto de Física Rosario - CONICET

* Universidad Nacional de Rosario

Rosario - República Argentina

RESUMEN

Fueron interpretados preliminarmente los resultados de una sección gravimétrica en las proximidades de la latitud 37°S.

Se encontró una máxima Anomalía de Bouguer negativa de / -120 mGal en coincidencia con la dorsal Andina.

Un modelo cortical simple exhibe la discontinuidad de M. a 43,7 km de profundidad.

Modelos hidrostáticos fueron también preparados. Ellos / muestran: en la zona de Argentina central, tendencia al equilibrio isostático y en los extremos de la sección significativas anomalías isostáticas positivas.

ABSTRACT

The results of the transcontinental gravimetric section on aproximatly 37°S latitude, were preliminarily interpreted.

In coincidence with the Andean dorsal the maximun negative Bouguer anomaly of -120 mGal was found.

A simple crustal model exhibits the M. discontinuity at / 43,7 km maximun depth.

Hydrostatical models were also prepared. They show: tendency to the isostatic compensation in the Argentine central zone, and significative positive isostatic anomalies on both section ends.

1- INTRODUCCION

Se realizó un estudio cortical preliminar sobre una sección / gravimétrica E-W ubicada en las proximidades del paralelo 37° de la titud sur.

Esta sección en su tramo continental argentino se extiende des de la localidad de Pinamar hasta Copahue (límite internacional Ar-/ gentino-Chileno), continua en Chile atravezando las localidades de Mulchen, Angol, Cañete entre otras hasta llegar a la costa pacífica internándose por último en el oceano.

La extensión total del itinerario proyectado es de aproximada- mente 1800 Km con los siguientes tramos parciales:

<u>Sector</u>	<u>Extensión</u>	<u>Número de Estaciones</u>
a) Oceano Pacífico	135 km	9
b) Chileno	225 km	15
c) Argentino	<u>1440 km</u>	<u>96</u>
Total	1800 km	120

El perfil en su recorrido atraviesa las siguientes regiones / geológicas: En Chile (Cordillera de la Costa, Valle Central, Cor- dillera de los Andes) en Argentina (Cordillera Principal, Cuenca / Neuquina, Provincia Geológica San Rafaelino Pampeana, Llanura Chaco Pampeana, Cuenca de Macachín y Sierras Septentrionales de la Provin- cia de Buenos Aires) (ver fig N° 1)

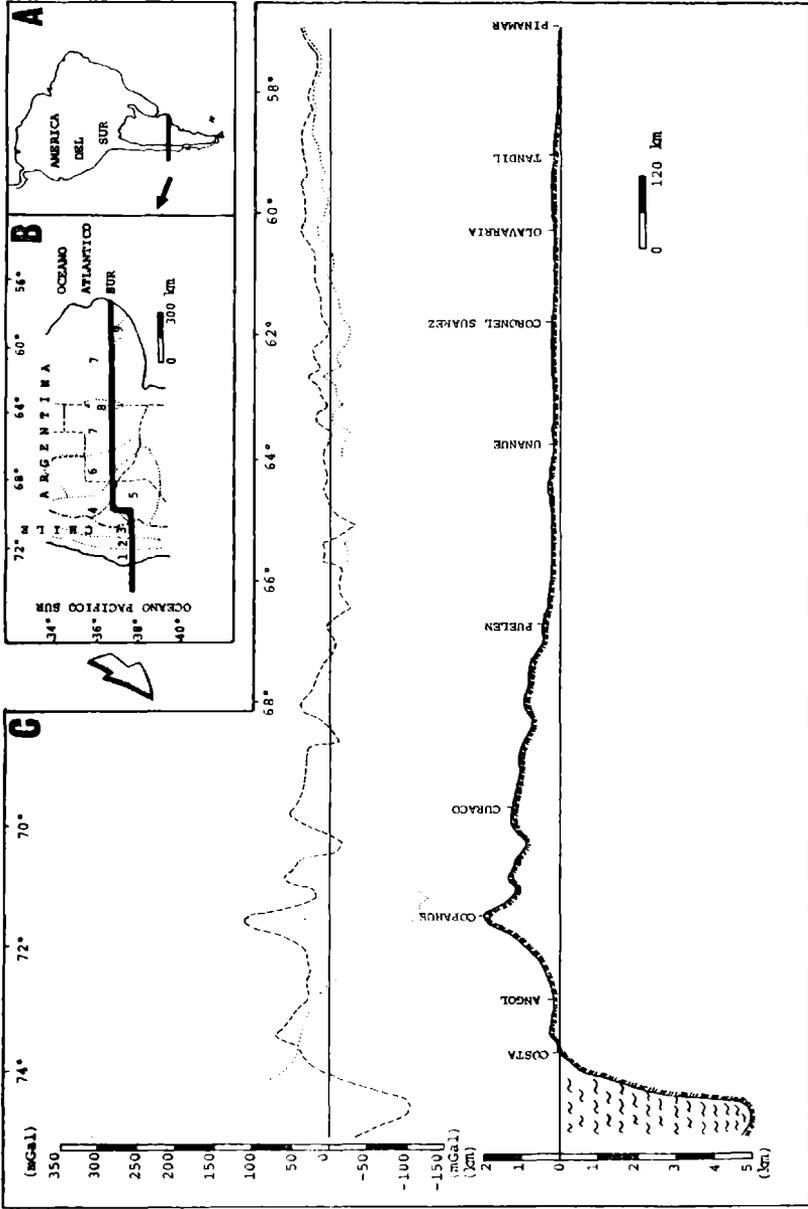
2- OBTENCION DE LOS DATOS

Los datos gravimétricos y altimétricos en el sector Argentino fueron cedidos en su mayoría por el Instituto Geográfico Militar / (I.G.M). Para los tramos comprendidos entre las localidades de Cu- racó - Luancó y Puelén - Chacharramendi, se emplearon los datos de gravedad relativa de la hoja Chos-Malal de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Y.P.F), calculándose a partir de estos, los valores de / Anomalías de Bouguer (A_B); mientras que en el tramo Las Armas - Pi- namar se utilizó los datos publicados por Cerrato et al, (1980).

Los valores de A_B para el sector continental Chileno fueron / obtenidos de la carta gravimétrica de América del Sur (Dragicevic, 1974), calculándose a partir de estos, los valores de Anomalías de Aire Libre ($A_{\Lambda 1}$) mediante la siguiente expresión:

$$A_{\Lambda 1} = A_B + 0,1118 h$$

h: Altitud en m



Referencias

- A- Ubicación Relativa; B- Regiones geológicas atravesadas con el perfil; 1) Cordillera de la Costa; / 2) Valle Central; 3) Cordillera de los Andes; 4) Cordillera Principal; 5) Cuenca Neuquina; 6) Prov. Geolog. San Rafaelino-Pampeana; 7) Llanura Chaco-Pampeana; 8) Cuenca de Macachín; 9) Sierras Septentrionales de la Pcia. de Bs. As. (---): Anomalia de Aire Libre; (---): Anomalia simple de Bouguer; (---): Topografía.
- Fig N°1: Resultados gravimétricos en el perfil transcontinental sudamericano ubicado en las proximidades del paralelo 37°S.

Los datos de profundidades y A_{AL} en el sector oceánico fueron extraídos de los trabajos de Hayes, (1966); Bowin et al, (1979); Herron, (1981) entre otros. Las A_{AL} fueron transformadas en A_B reemplazando el agua y los sedimentos por masas de igual volumen y densidad 2,8 gr/cc. Para ello se respetó la topografía del fondo marino y se lo asemejó a un número determinado de bloques paralelepípedos bi dimensionales de ancho constante (15 km), luego se calculó el efecto gravimétrico de dichas masas con un contraste de densidad de / +1,77 gr/cm³ Posteriormente se sumó este efecto a los valores de A_{AL} correspondiente a cada estación obteniéndose así la A_B de dichas / estaciones.

Con el fin de comparar metodologías, se asimiló también el fondo marino a una poligonal de "n" vértices (Guspi, 1984), advirtiéndose que los resultados obtenidos por ambos métodos son consistentes.

3- REDUCCION DE LAS OBSERVACIONES

Las anomalías gravimétricas en principio fueron calculadas con las clásicas expresiones:

$$A_{AL} = G_{ob.} - (\gamma^o - C_{AL})$$

$$A_B = G_{ob.} - (\gamma^o - C_{AL} + C_B)$$

- siendo: A_{AL} : Anomalia de Aire Libre ; A_B : Anomalia de Bouguer
 $G_{ob.}$: Valor de gravedad observado, vinculado con la estación fundamental de Miguelete (979.705,0 mGal).
 γ^o : Valor teórico correspondiente a la expresión internacional de 1930.
 C_B : Corrección de Bouguer ($0,0419 \times \sqrt{h}$) con \sqrt{h} : densidad de la masa topográfica (2,67 gr/cm³); h: Altitud / topográfica en m .
 C_{AL} : Corrección de Aire Libre ($0,3086 \times h^{\dagger}$; h: Altitud topográfica en m .

*Para áreas de poca elevación $h < 1500$ m el gradiente vertical usado fue de 0,3086 mGal/m; pero en las regiones andinas cuyas alturas sobrepasan los 1500 m se utilizó la expresión de Swick, (1942)

$$C_{AL} = (0,30855 - 0,00022 \cos 2\varphi) h - 0,072 (h/1000)^2$$

siendo: φ : Latitud de la estación. h: Altura en metros.

No obstante se observó que las diferencias obtenidas utilizando

una u otra expresión resultaron ser muy pequeñas (de alrededor de 0,5 mGal para una altura máxima de 2000 m), no teniendo por lo tanto incidencia en la interpretación regional.

Para uniformar los datos de esta sección con lo de otras secciones en estudio, todos los valores fueron trasladados al sistema de referencia de 1967, empleando para ello la siguiente expresión:

$$\Delta g = (17,20 - 14,97) - 13,6 \text{ sen}^2 \varphi$$

siendo: φ : Latitud de la estación

Para estas latitudes las variaciones de Λ_{A1} y Λ_B entre uno y otro sistema de referencia es de $2,78 \pm 0,11$ mGal. A los fines de nuestro estudio, estas pequeñas diferencias son de poca significación.

4- MODELOS HIDROSTATICOS

Se analizó el comportamiento isostático en la sección gravimétrica proyectada, elaborándose modelos hidrostáticamente compensados de acuerdo con la clásica hipótesis de Airy. Se emplearon las siguientes expresiones:

Para la sección Continental

$$\Delta R = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{m} - \sqrt{c}} h \quad (1)$$

Para la sección Oceánica

$$\Delta R' = \frac{\sqrt{c} - \sqrt{a}}{\sqrt{m} - \sqrt{c}} h_a \quad (2)$$

siendo: \sqrt{c} : Densidad de la corteza

\sqrt{m} : Densidad del manto superior

\sqrt{a} : Densidad del agua (1,03 gr/cm³)

h: Emergencia topográfica sobre el nivel medio del mar

h_a: Profundidad del fondo oceánico bajo el nivel medio del mar.

ΔR : Raiz por debajo del espesor cortical normal

$\Delta R'$: Antirraiz sobre el espesor cortical normal.

Las masas topográficas y oceánicas por sobre y por debajo el nivel medio del mar fueron asimiladas a: 121 bloques de 15 km de ancho; 63 bloques de 30 km de ancho; 32 bloques de 60 km de ancho; 16 bloques de 120 km de ancho; y 8 bloques de 240 km de ancho. Todos ellos de sección rectangular y altura promediada.

Para cada caso se elaboraron dos modelos hidrostáticos con distintas densidades de la corteza y del manto superior.

$$\begin{array}{ll} \text{Modelo A} & \sqrt{c}= 2,9 \text{ gr/cm}^3 \\ & \sqrt{m}= 3,3 \text{ gr/cm}^3 \end{array} \quad \begin{array}{ll} \text{Modelo B} & \sqrt{c}= 2,67 \text{ gr/cm}^3 \\ & \sqrt{m}= 3,27 \text{ gr/cm}^3 \end{array}$$

reemplazando estos valores en las expresiones N°(1) y N°(2), se tiene que:

$$\text{Para el Modelo A} \quad \Delta R= 7,25 \text{ h} \quad \Delta R'= 4,68 \text{ ha}$$

$$\text{Para el Modelo B} \quad \Delta R= 4,45 \text{ h} \quad \Delta R'= 2,73 \text{ ha}$$

En todos los modelos confeccionados el espesor normal asumido fue de 33 km.

En base a estas expresiones, para cada valor de h y de ha se obtuvieron las respectivas raíces (ΔR) y antirraíces ($\Delta R'$). Mediante el método directo se calculó el efecto gravimétrico en cada caso (ver fig N°2). Se encontró los siguientes resultados máximos (ver tabla N°1).

Anchos de los bloques que asemejan a la topografía	MODELO A		MODELO B	
	Max. Prof. (km)	A_B calc. (mGal)	Max. Prof. (km)	A_B calc. (mGal)
a) 15 km	47,79	-141	42,08	-132,45
b) 30 km	46,88	-140,12	41,52	-131,46
c) 60 km	45,03	-136,86	40,39	-128,12
d) 120 km	41,49	-118,09	38,21	-109,13
e) 240 km	41,43	- 91,39	38,18	- 83,64

Tabla N°1: Máximos valores de Profundidades y de Anomalías de Bouguer (A_B) calculados con modelos hidrostáticos de distintos anchos de bloques.

Tal vez los resultados mas convincentes corresponden al modelo con un ancho de bloque de 15 km. En este caso las altitudes de medición del sector Argentino se corresponden razonablemente con las máximas altitudes promedio de la topografía. En el sector Chileno las altitudes de la topografía sobrepasan sistemáticamente a las de medición.

El efecto gravimétrico calculado con este modelo fue comparado con las A_B observadas obteniéndose así las anomalías isostáticas correspondientes a este modelo. Estas anomalías dejan residuos más significativos en ambos extremos del perfil. (ver fig N°3).

Referencias

- ~: A_B observada
- A_B calculada con el modelo hidrostático, ajustando la topografía a:
 - ~: Bloques de 15 km de ancho
 - ~: Bloques de 30 km de ancho
 - ~: Bloques de 60 km de ancho
 - ~: Bloques de 120 km de ancho
 - ~: Bloques de 240 km de ancho.

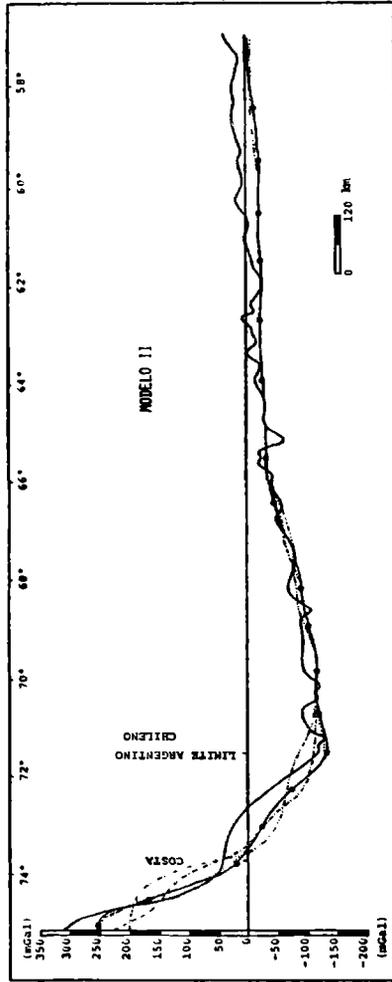
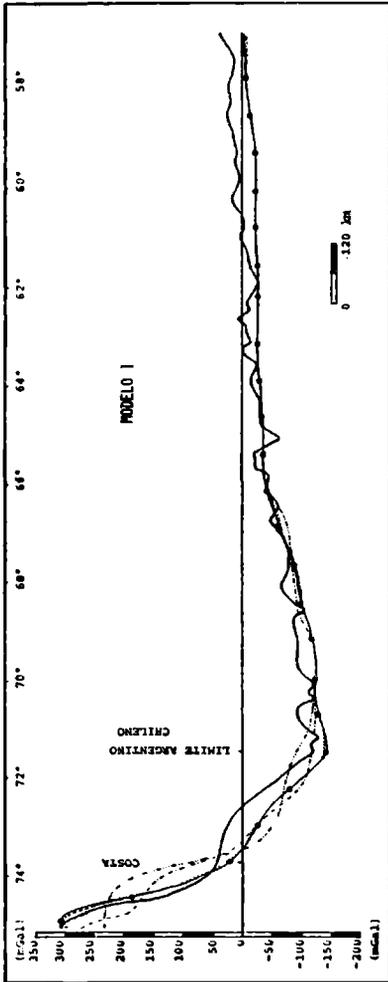


Fig N°2:
 Modelos Hidrostáticos en la sección del 37°S calculado con: Modelo I: Densidad de corteza (\sqrt{c}): 2,9 gr/cm³, Densidad de manto (\sqrt{m}): 3,3 gr/cm³, Modelo II: \sqrt{c} : 2,67 gr/cm³, \sqrt{m} : 3,27 gr/cm³.

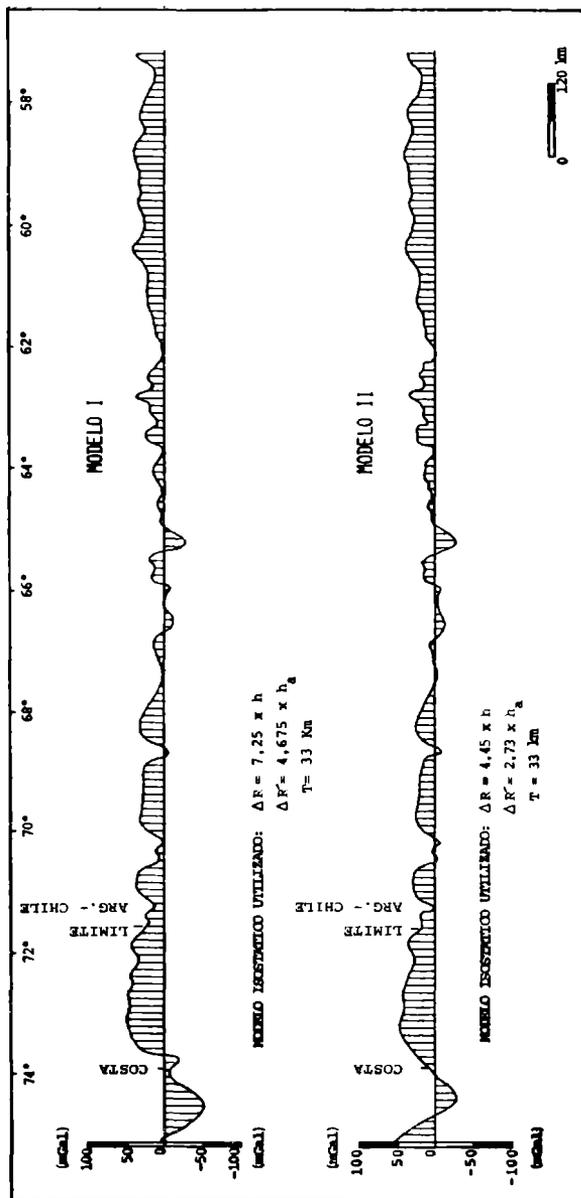


Fig N°1: Anomalías isostáticas calculadas en el perfil del 37°S.

MODELO I: Anomalia correspondiente a un modelo bidimensional con densidad de corteza (\sqrt{c}): 2,9 gr/cm³; densidad de manto (\sqrt{m}): 3,3 gr/cm³; y espesor cortical (T): 33 km

MODELO II: Anomalia correspondiente a un modelo bidimensional con densidad de corteza (\sqrt{c}): 2,67 gr/cm³; densidad de manto (\sqrt{m}): 3,27 gr/cm³; y espesor cortical (T): 33 km

5- REGIONALIZACION DE LAS ANOMALIAS DE BOUGUER

Con el objeto de eliminar las cortas longitudes de ondas que / corresponden a efectos de estructuras superficiales y trabajar solamente con las anomalías regionales, se prolongaron las Anomalías de Bouguer observadas a 30, 40 y 50 km de altura. Se utilizó como "filtro" el método de prolongación ascendente desarrollado por Pacino-Introcaso, (1985).

Los valores fueron digitalizados cada 10 km, extendiéndose los extremos del perfil al este y al oeste en 150 km para minimizar los efectos de borde.

La prolongación a 40 km de altura es la que parece "filtrar" / mejor los efectos locales sin que se produzcan pérdidas de la información regional. (ver fig N°4).

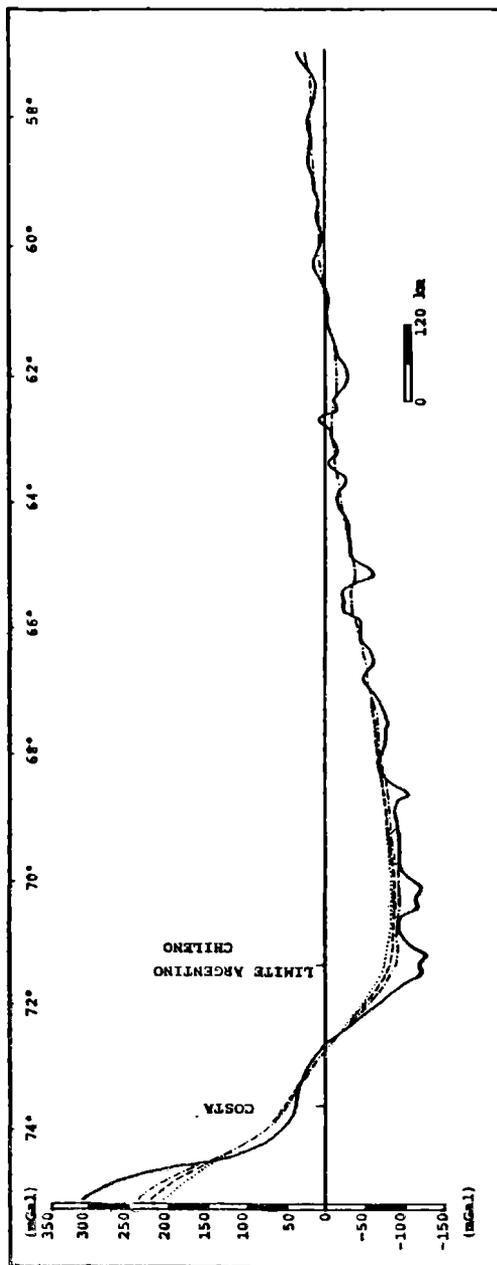
6- MODELO CORTICAL

La Anomalía de Bouguer prolongada a $h = 40$ km de altura fué invertida mediante el método de inversión poligonal desarrollado por Talwani et al (1959), adoptándose los siguientes parámetros: Densidad media cortical (ρ_c) = 2,9 gr/cm³; Densidad media del manto superior (ρ_m) = 3,3 gr/cm³; Espesor cortical normal (T) = 33 km.

Se calculó mediante el método directo el efecto gravimétrico / sobre la superficie topográfica, producido por el modelo así definido desde $h = 40$ km. La anomalía gravimétrica obtenida se superpuso con la Anomalía de Bouguer observada, verificando que constituye una aceptable anomalía regional. (ver fig N° 5).

Las anomalías isostáticas correspondientes al modelo hidrostático con bloques de 15 km de ancho muestran:

- 1) Mínimos en la zona central de Argentina (entre longitudes de 64° y 68°W).
- 2) Positivos y superando a las Anomalías de Bouguer observadas, en la mayor parte de la provincia geológica Bonaerense.
- 3) Positivos en el sector Chileno; Máximo: 48 mGal que parece ser un rasgo común de gran parte de esta faja Sudamericana, según se desprende de la tabla N°2.
- 4) Positivas bajo el edificio Andino, aunque (al igual que en el / punto anterior) con tendencia a minimizar a las Anomalías de / Bouguer contrariamente a lo que ocurre en (2)



Referencias

- : A_B observada
- - - : A_B observada y prolongada a 40 km
- · · : A_B observada y prolongada a 50 km
- · - : A_B observada y prolongada a 30 km

Fig N°4: Prolongación ascendente de la Anomalia de Bouguer observada en el perfil del 37°S.

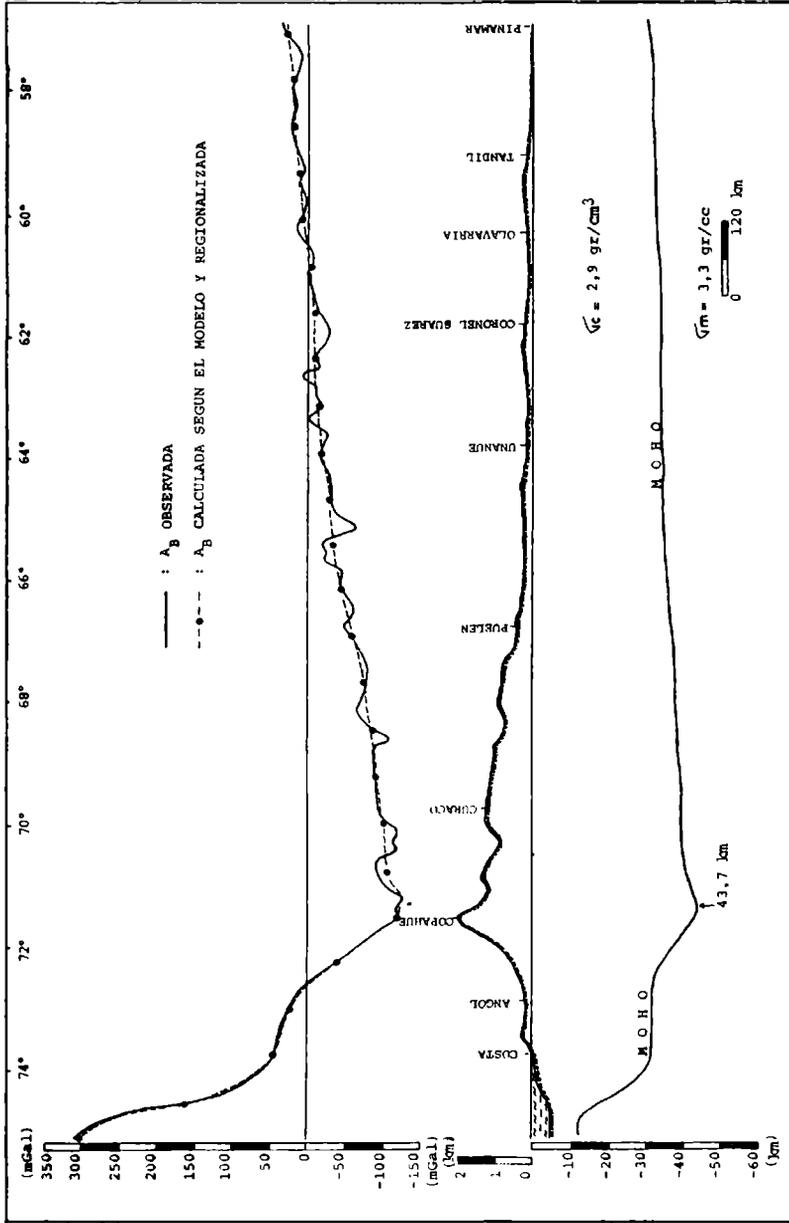


Fig N°5: Modelo gravimétrico de corteza propuesto para la sección del 37°S, suponiendo: densidad de corteza (ρ_c) de 2,9 gr/cm³; densidad de / manto (ρ_m) de 3,3 gr/cm³ y espesor cortical normal (T) de 33 km.

SECTOR DE CHILE		
LATITUD	MAXIMA ANOMALIA ISOSTATICA (mGal)	
	O.T.*	O.S.**
24°S	+90	+98
30°S	+115	+120
32°S	+95	+105
33°S	+65	+80

O.T.*: Observaciones de datos por tierra (Grupo de Geofísica Rosario)

O.S.**: Observaciones de datos por satélites (Becker et al, 1986).

Tabla N°2: Máximas anomalías isostáticas en el sector Chileno para distintas secciones sudamericanas.

Por debajo de los 35° de latitud sur termina el contorno de / 3000 m de altitud dado por Chinn-Isacks, (1983). El perfil transcontinental de 36°S (Introcaso, 1976), exhibe máximas altitudes de medición de 2200 m, mientras la máxima topografía de nuestro perfil (que también puede verse en fig N°3 de Lowrie-Hey, 1981) es de unos 2000 m.

Las máximas Anomalías de Bouguer negativas y los gradientes / horizontales de "g" en el sector Chileno y Argentino son respectivamente:

LATITUD	MAX. ANOMALIA DE BOUGUER (mGal)	GRADIENTES (mGal/km)	
		CHILE	ARGENTINA
33°S	-300	2,06	0,95
36°S	-175	1,33	0,59
37°S	-120	0,73	0,16
39°S	-110	0,69	0,17

Tabla N°3: Máximos valores de gradientes horizontales de "g" y de Anomalías de Bouguer en el sector de cordillera Andina para distintas latitudes.

Existe pues desde el 33°S al 39°S:

* Disminución de altitudes

** Caída del valor absoluto de las máximas Anomalías de Bouguer

*** Disminución de los gradientes horizontales de "g" a ambos lados de la cordillera.

7- CONCLUSIONES

La anomalía isostática positiva del sector Chileno indica, al igual que en otras secciones andinas, la complicada distribución / de masas en la zona de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana.

Por debajo de la cordillera andina hemos encontrado un máximo espesor cortical de 45,7 km (profundidad del Moho: 43,7 km; altitud topográfica: 2 Km). Esta "raiz" está solo groseramente de acuerdo con el exceso de masas andinas. Por ello habría que analizar el residuo isostático encontrado.

En la provincia de Buenos Aires, la sección presenta una Anomalia de Bouguer positiva que crece con la corrección isostática e indica un exceso de densidad en niveles corticales como ya fuera señalado en estudios anteriores por Introcaso, (1982).

8- Agradecimientos: Los autores agradecen al Instituto Geográfico / Militar (I.G.M), por haber cedido la mayor parte de las líneas gravimétricas utilizadas en el armado del perfil en la parte Argentina.

Al Conicet por la financiación parcial a través del PID N°3-073 400/85.

9- BIBLIOGRAFIA

- Becker, M., Gao, M., Groten, E., 1986: First results of precise gravity measurements on the "A.B.C. Profile"; *Tectonophysics* 130, 33-47.
- Bowin., Warsi., Milligan., 1979: Free-air anomaly map and Atlas of / the world; Woods Hole Ocean Instit.
- Cerrato, A., Masciotra, J. L., Nuñez, O. A., Ignazzi, J. C., 1980: Densificación de líneas gravimétricas en la zona sud de la provincia de Buenos Aires; *Contribución a la Geodesia Aplicada.* / Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, 1-13.
- Chinn, D. S., Isacks, B., 1983: Accurate source depths and focal mechanisms of shallow earthquakes in western South America and / in the New Hebrides Island Arc; *Tectonics*, 2 (6), 529-563.
- Dragicevic, S., 1974: Carta gravimétrica de América del Sur; Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, 167, 1-11.
- Guspi, F., 1984: Problema inverso por aproximación poligonal. Ajuste mínimos cuadrados; *Archivo de Geofísica.* Rosario.
- Hayes, D., 1966: A geophysical investigation of the Peru-Chile trench; *Lamont Geological Observatory*, 968 (4), 309-351.

- Herron, E. M.,1981: Chile margin near lat. 38°S: Evidence for a genetic relationship between continental and marine geologic features or a case of curious coincidences?; Lamont Doberty Geological Observatory of Columbia University, 755-758.
- Introcaso, A.,1982: Característica de la corteza en el positivo Bonaerense: Tandilia-Cuenca Interserrana-Ventania, a través de / datos de gravedad;Publicación del Observatorio Astronómico Municipal de Rosario.
- Introcaso, A.,1976: Modelo gravimétrico provisorio de corteza Andina en el paralelo 36°S; Geoacta, 8 (1), 107-115.
- Lowrie, A., Hey, R.,1981: Geological and Geophysical variations / along the western margin of Chile near lat 33° to 36°S and / their relation to Nazca Plate subduction; Nazca Plate Memoir Geological Society of America, 154, 741-753.
- Pacino, C., Introcaso, A.,1985: Prolongación ascendente de campos potenciales en el dominio espacial; Geoacta, 13 (1), 253-265.
- Swick, C. H.,1942: Pendulum gravity measurements and isostatics / reductions; U. S. Coast and Geodetic Survey Special Publication,232.
- Talwani, M., Worzel, J. L., Landisman, M.,1959: Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone; Journal of Geophys. Research,64, 49-59.