



DETERMINACIÓN DE LA NATURALEZA CORTICAL DEL MARGEN CONTINENTAL DEL CRATÓN DEL RÍO DE LA PLATA

Daniel Abraham^{1,2*}, Marcelo Paterlini^{1,2,3}, Marta Ghidella⁴, Alejandro Tassone⁵, Marcelo Ancarola¹

¹COPLA. Comisión Nacional del Límite Exterior Argentino

²Escuela de Ciencias del Mar, Instituto Universitario Naval, Argentina

³SHN – Servicio de Hidrografía Naval, Argentina

⁴Instituto Antártico Argentino, Argentina

⁵INGEBA-CONICET, Argentina

Abstract

The location of transitional continental - oceanic crust and magnetic anomalies produced by bodies inside the basement were related in this work, in the region between 35°S and 46°S. The *G* anomaly (Rabinowitz and LaBrecque, 1979) and seafloor spreading anomalies (magnetic alignments of the *M* series) play an important role in the aim of this work. We show the *M* alignments on a map where were plotted total field anomalies and on other map which the numeric curvature, affected by a transparency factor, was superimposed to magnetic anomalies. This procedure causes an enhancement of the alignments (Abraham *et al.*, 2010). We also developed three complementary geophysics methods in addition of the magnetic anomalies map that help to understand the problem. Two of them, work on the upper horizon of the basement, interpreted by multichannel reflection seismic. A spectral method detects frequencies and a statistical method quantifies the roughness characteristics of the analyzed signals. The development of a third method, which consists in solving differential equations, allowed us to make a theoretical analysis of the influence of the orientation of a prism-shaped body on the position of maximum anomalies.

Resumen

En este trabajo se relaciona la posición de la corteza de transición continental – oceánica con las anomalías magnéticas producidas por cuerpos intrabasamentales, en la región comprendida entre las latitudes 35°S y 46°S aproximadamente.

La anomalía *G* (Rabinowitz y LaBrecque, 1979) y las alineaciones de expansión de fondo oceánico de la serie *M* juegan un rol importante en el objetivo del trabajo. El trazado regional de las mismas no sólo se muestra en un mapa de anomalías de campo total sino también en un mapa de anomalías magnéticas en el cual se superpuso la curvatura numérica de las mismas con un factor de transparencia provocando así un realce de las alineaciones (Abraham *et al.*, 2010). Se presenta también el desarrollo de tres métodos complementarios a la interpretación del mapa de anomalías. Dos de ellos trabajan sobre el horizonte superior del basamento interpretado en secciones sísmicas de reflexión multicanal. Un método espectral y uno estadístico permiten detectar frecuencias espaciales características y cuantificar la rugosidad sobre las señales analizadas, respectivamente. El desarrollo de un tercer método, que consiste en un modelado basado en la resolución de ecuaciones diferenciales nos permitió realizar un análisis teórico de la influencia de la orientación de un cuerpo de forma prismática sobre la posición del máximo de las anomalías que provoca.

Introducción

Existe una gran cantidad de modelos realizados por diversos autores, en relación a la apertura del océano Atlántico Sur y la edificación de los márgenes continentales, pero sigue siendo un tema de gran interés científico dado que no se conoce un único modelo que sea totalmente compatible con todos los requerimientos técnicos. Los modelos tectónico-estructurales han ido evolucionando desde aquellos que consideran el movimiento de las placas sin tener en cuenta sus deformaciones internas, hasta los modelos que sí lo hacen. El mejor ajuste de los modelos estructurales, va acompañado con el mejoramiento de los modelos geofísicos, para así obtener una identificación mejorada de las anomalías magnéticas asociadas a las diversas dorsales oceánicas y segmentos del margen con corteza transicional. El objetivo de este



trabajo es determinar por diversos métodos geofísicos el área de corteza transicional, en particular definir la traza de las anomalías magnéticas principales con connotación geodinámica como son la *G* y las de la serie *M*.

Breve descripción del margen y posición de las alineaciones magnéticas

El segmento del margen analizado en este trabajo está comprendido entre los 35°S y 46°S aproximadamente.

La cobertura de los datos magnéticos adquiridos para generar el modelo de anomalías magnéticas se muestra en la figura 01. La superposición de una imagen semitransparente de curvatura de las anomalías resaltó los lineamientos magnéticos (Abraham *et al.*, 2010). (figura 02 a y b)

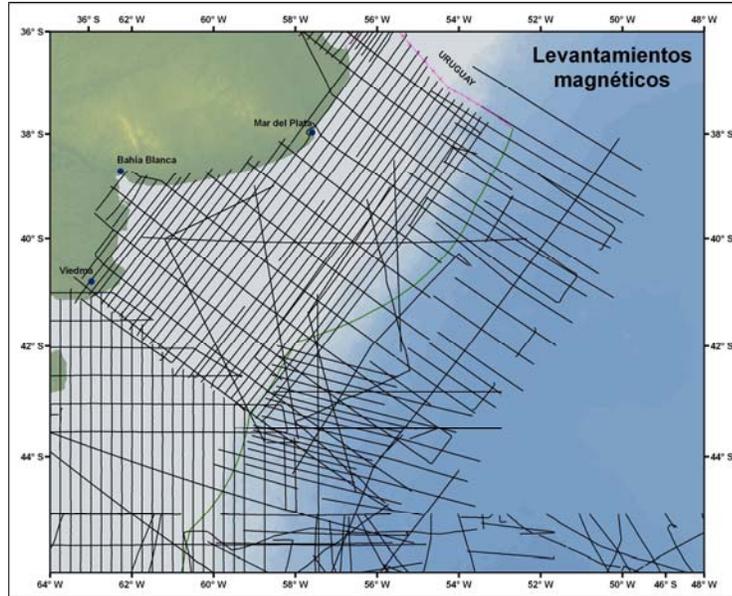


Figura 01. Levantamientos magnéticos utilizados para armar el modelo de anomalías magnéticas

Desde el punto de vista geológico la región de estudio se define como un margen extensional volcánico. Existen cuñas volcánicas que pueden verse en la sísmica de reflexión multicanal como una secuencia de reflectores sísmicos que inclinan hacia el mar (*seaward dipping reflectors sequence – SDRS*) (Hinz *et al.*, 1999) fueron formadas por flujos basálticos que jugaron un papel preponderante en cuanto a la delimitación de la corteza de transición océano-continente. La respuesta magnética de los *SDRS* es la zona de la prominente anomalía *G* (Rabinowitz y LaBrecque, 1979). Hacia el este de la anomalía *G* se encuentran las alineaciones magnéticas de expansión de fondo oceánico de la serie *M* (ver figuras 02 a y b).

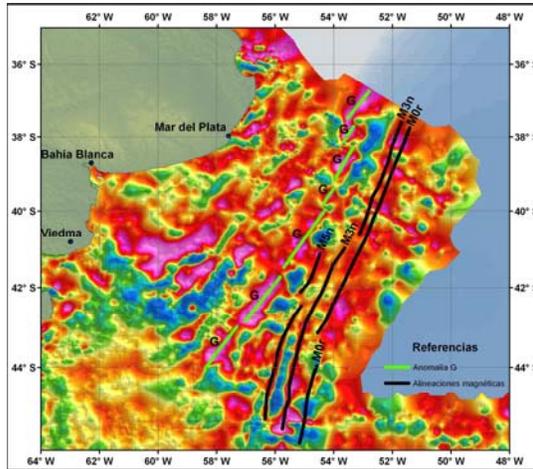


Figura 02 a. Mapa de anomalías magnéticas. Anomalía G y alineaciones de expansión de fondo oceánico de la serie M.

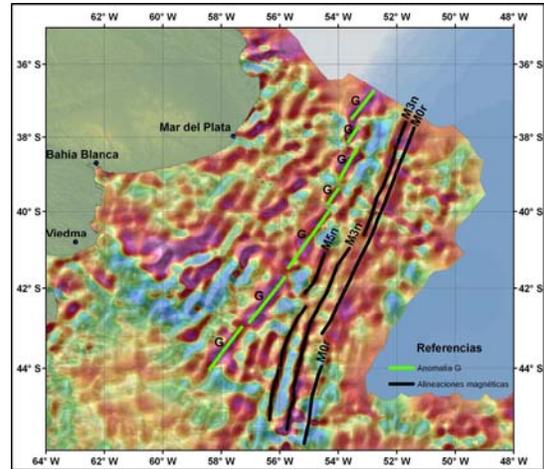


Figura 02 b. Mapa de anomalías magnéticas con la grilla de curvatura superpuesta con un factor de transparencia. Anomalía G y alineaciones de expansión de fondo oceánico de la serie M.

Análisis de la morfología de la topografía del techo del basamento.

Análisis espectral

Los horizontes sísmicos interpretados como techo del basamento en diversas líneas con orientación predominante E-O muestran cambios importantes en su aspecto. Se utilizaron dos métodos para analizar la frecuencia de la señal y la rugosidad.

Se usó un método espectral basado en la transformada corta de Fourier para detectar cuantitativamente cambios prominentes en la frecuencia de las armónicas puras que componen la señal del techo del basamento. La ventana utilizada fue de tipo gaussiana cuya expresión es la siguiente:

$$w(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} e^{-\frac{(x-\beta)^2}{4a^2}} \tag{01}$$

El parámetro α regula el ancho de la ventana, mientras que el parámetro β regula el paso de desplazamiento de la misma.

El cálculo de la densidad de energía espectral de la señal y su gráfica permiten analizar dónde se encuentran cambios notables en las amplitudes de las armónicas y así identificar cuál es su frecuencia espacial correspondiente. Una vez cuantificado el número de onda se procede a filtrar la señal resaltando las regiones donde predomina esta frecuencia espacial como puede apreciarse en la figura 03 donde se muestra una de las líneas analizadas. En las líneas analizadas se determinan la progresiva (posición respecto del origen de la línea) y las coordenadas geográficas donde se produce el primer cambio significativo en la frecuencia.

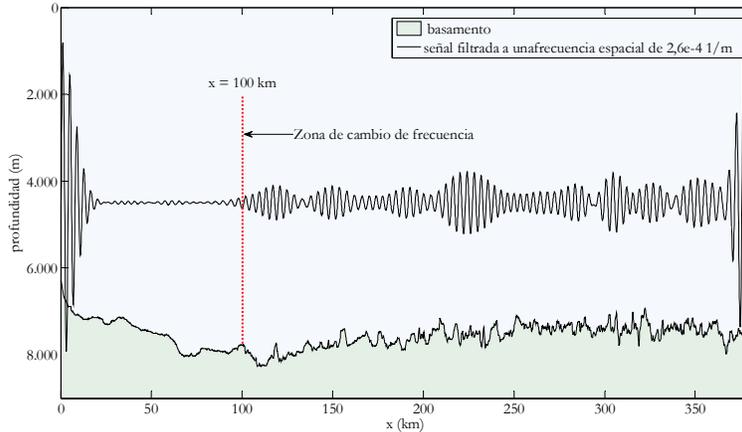


Figura 03. Basamento y techo de basamento filtrado para resaltar la componente armónica de frecuencia espacial $2,6 \cdot 10^{-4} \text{ 1/m}$

Análisis estadístico

Este método consiste en calcular una variable estadística cuyo valor cuantifica la rugosidad del techo del basamento. Se dividió la señal en tramos iguales, y en cada uno de estos tramos se hizo un ajuste lineal de la misma. La longitud considerada para cada uno de los tramos fue de 2000 m y se calculó la desviación estándar (*RMS*) de la diferencia entre los puntos de la señal y la recta de ajuste. Con el *RMS* de cada tramo se cuantificó a la rugosidad a lo largo de cada línea. Sobre la distancia comprendida entre el borde oeste de los *SDRS* y el primer incremento significativo en el *RMS* se calculó un promedio de los mismos. Luego el cálculo del promedio se repitió hasta el final de cada línea. Los valores de *RMS* calculados a lo largo de una línea y el promedio se muestran en la figura 04.

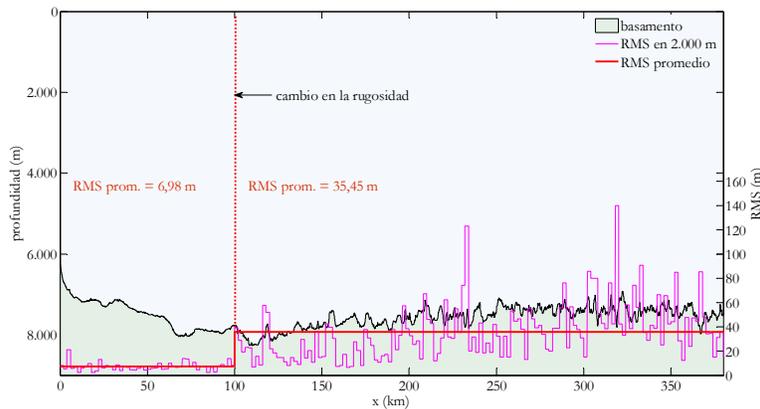


Figura 04. Basamento y rugosidad del techo del basamento caracterizada por el cálculo del *RMS* en tramos de 2000 m

Análisis teórico sobre la estimación de la posición del máximo de las anomalías respecto de sus fuentes.

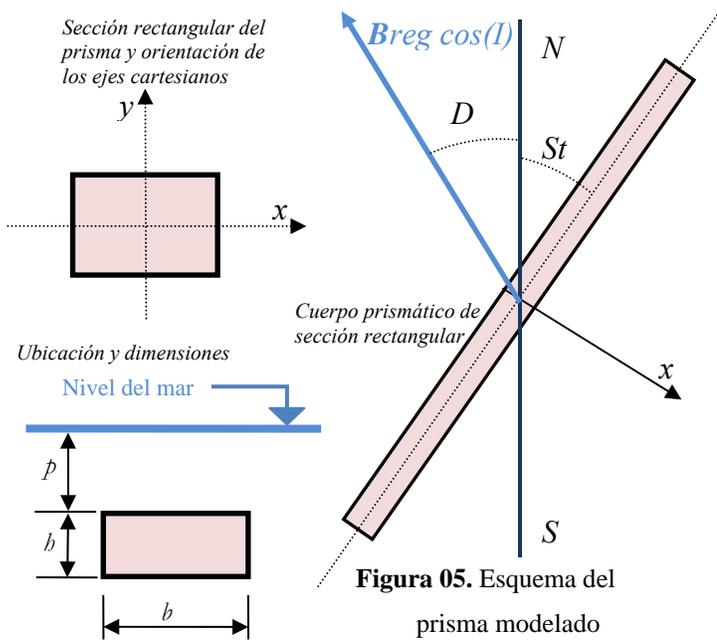
La magnitud y forma de las anomalías magnéticas dependen de diversos factores. Estos factores pueden ser intrínsecos a los cuerpos magnetizados y externos a los mismos. En cuanto a los factores intrínsecos se debe tener en cuenta: la orientación, profundidad a la que se encuentra, dimensiones, forma, el valor de la susceptibilidad magnética y la magnetización remanente. Los factores externos que se deben considerar son el módulo, inclinación y declinación del campo regional. Se hizo un modelado para obtener la respuesta magnética de un cuerpo geométrico que cumple aproximadamente las condiciones de



magnetización a las que se encuentran sometidas las formas geológicas que provocan las alineaciones de expansión de fondo oceánico en el sector de margen estudiado.

La resolución numérica del sistema de ecuaciones se realizó empleando el software FlexPDE®, que utiliza el método de elementos finitos.

Para el cálculo de la anomalía magnética se tiene en cuenta la orientación del cuerpo respecto de la



dirección del vector inducción magnética regional (ver figura 05). En el modelo realizado la orientación del cuerpo queda definida por el ángulo St (*strike*), que es el ángulo que forma el eje de simetría longitudinal del cuerpo con la dirección $N-S$, considerado positivo cuando se lo mide en sentido horario. En la figura 03 se muestra un cuerpo de forma prismática de sección rectangular con su cara superior a una profundidad p debajo del nivel del mar y su posición relativa respecto de la gd del campo regional en función de los ángulos D (declinación) y St .

Se analizó como influye la orientación del cuerpo en la posición del máximo de las anomalías. Considerando nula la declinación magnética se analizó la dependencia de la posición del máximo de las anomalías respecto del borde oeste del cuerpo vs. St .

Con los resultados obtenidos se hizo un ajuste exponencial del tipo: $x_{aj} = a e^{bSt}$. En donde x_{aj} es la posición del máximo de las anomalías medida respecto del borde oeste del cuerpo prismático. Las constantes a y b se determinaron en el proceso de ajuste exponencial no lineal mediante cuadrados mínimos. El análisis realizado muestra que para ángulos St mayores o iguales que 35° el máximo se ubica a una distancia menor o igual a 2 km del borde oeste del cuerpo, en las condiciones que se realizó el modelado como se aprecia en la figura 06. Si el ancho del cuerpo modelado fue de 20 km, significa que el 90 % de la dimensión horizontal del cuerpo queda hacia el este del máximo de las anomalías. Debe considerarse que los parámetros de modelado tienen valores aproximados a los valores típicos del margen argentino entre las latitudes $35^\circ S$ y $43^\circ S$, por ejemplo el ángulo St de las alineaciones de fondo oceánico oscila entre 35° y 40° aproximadamente. A las trazas de las alineaciones magnéticas se las dibujó sobre los máximos de las anomalías. El estudio realizado indica que aproximadamente el 90% del cuerpos que las originan está al este de la traza.

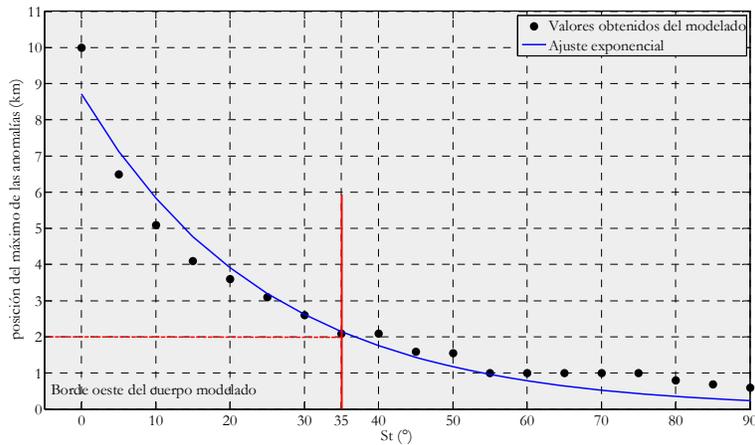


Figura 06. Posición del máximo de las anomalías vs strike

Resultados y análisis

Los resultados de los métodos espectral y estadístico se muestran en el mapa de la figura 07, donde también están dibujados los *SDRS* y las alineaciones magnéticas de la serie *M*. Las frecuencias espaciales obtenidas en el análisis de todas las líneas corresponden a longitudes de onda comprendidas entre 4 km y 6 km aproximadamente. La rugosidad *RMS* promedio comienza a disminuir marcadamente hacia el sur de los 42° S. Esto podría estar relacionado con la menor presencia de diques intrusivos, con respecto a la región que se encuentra al norte de los 42° S, en donde la rugosidad *RMS* promedio se mantiene sensiblemente uniforme. La influencia de la orientación de los cuerpos magnetizados sobre la posición del máximo de las anomalías se muestra en la figura 06.

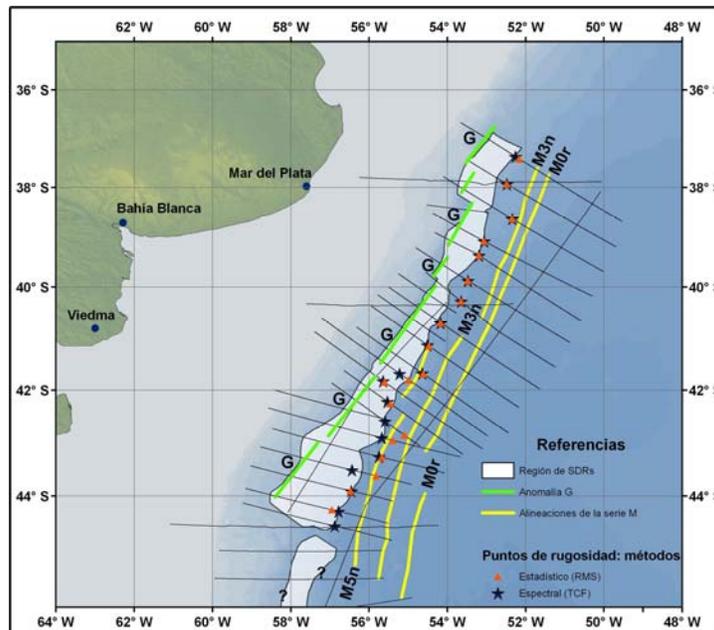


Figura 07. Puntos donde se detecta el cambio de frecuencia/rugosidad. Región de los *SDRS*. Alineaciones magnéticas de la serie *M*. Anomalía *G*



Conclusiones

Los análisis realizados permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

Los métodos espectral y estadístico marcaron el cambio de frecuencia/rugosidad en coordenadas similares sobre las líneas como se ve en la figura 07.

En la mayoría de las líneas el cambio de rugosidad coincide con el borde externo de los *SDRS* bien identificados. Esto está en concordancia con el hecho de que en esta zona los *SDRS* desaparecen o bien son muy delgados. En consecuencia los diques intrusivos subyacentes comienzan a ubicarse más superficialmente alterando la topografía del basamento y por lo tanto su rugosidad.

En los casos particulares donde el cambio de frecuencia /rugosidad no coincidió con el borde este de los *SDRS* podría deberse a que la secuencia externa de los mismos no está bien definida.

La disminución de la rugosidad hacia el sur podría estar relacionada con una mayor velocidad de expansión.

Los máximos de las anomalías de la serie *M* se ubican al este de los puntos de cambio de frecuencia/rugosidad, lo cual significa que los cuerpos que las originan aún están más hacia al este, teniendo en cuenta el análisis realizado. Considerando que los *SDRS* están ubicados entre la corteza continental pura y la corteza oceánica, se puede decir que la envolvente de las alineaciones de la serie *M* más antiguas marca el comienzo de la corteza oceánica. El área de la corteza transicional está reflejada en el mapa de anomalías magnéticas como la zona comprendida entre el borde oeste de la anomalía *G* y la envolvente interna de las anomalías mesozoicas de la serie *M*.

Referencias

- Abraham, D.A., Ghidella, M., Paterlini, M., Schreckenberger, B. 2010. Characterization of the magnetic response of the Northern Argentine continental margin (Shout Atlantic Ocean). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 51, Suplement: 130-133. ISSN 0006-6729.
- Hinz, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Roeser, H., Goncalves de Souza, K., Meyer, H. 1999: The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup. *Marine and Petroleum Geology*, 16 1-25.
- Rabinowitz, P.D., LaBrecque, J. 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins, *J. geophys. Res.*, 84, 5973–6002.