

Interpretación bidimensional de datos magnetotelúricos de medios tridimensionales: limitaciones y resolución

Two Dimensional Interpretation of 3-D Magnetotelluric Data: limitations and resolution response

J. Ledo⁽¹⁾, P. Queralt⁽²⁾, A. Martí⁽²⁾ y A. G. Jones⁽¹⁾

(1) Geological Survey of Canada, 615 Booth St.K1A OE9, Ottawa, Canadá, ledo@cg.NRCan.gc.ca, ajones@cg.NRCan.gc.ca

(2) Dep. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona, Martí i Franqués s/n 08028, Barcelona, pilar@geo.ub.es, anna@geo.ub.es

SUMMARY

Interpretation of magnetotelluric (MT) data for three-dimensional (3-D) regional conductivity structures remains uncommon, and two-dimensional (2-D) models are often considered an adequate approach. In this paper we explore 2-D interpretation of 3-D data by considering the synthetic responses from several profiles over a 3-D structure chosen specifically to highlight the advantages and limitations of 2-D interpretation. We obtain 2-D models from inversion of the synthetic 3-D data set with different conditions (noise and distortion) applied to the data. We demonstrate the importance of understanding galvanic distortion of the data and show how 2-D inversion is improved when the regional data are corrected prior to modelling. When the 3-D conductive structure is located below the profile, the models obtained suggest that the effects of finite strike are not significant if the structure has a strike extent greater than about one-half of a skin depth. In this case the use of only TM-mode data determined better the horizontal extent of the 3-D anomaly. It is important to note that the main structures are identified in all the cases considered here, although in some cases the large data misfit would cause scepticism about features of the models.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del presente estudio es abordar alguno de los problemas principales relacionados con la interpretación tridimensional (3D) de datos magnetotelúricos (MT). Se ha realizado la modelización de diferentes estructuras regionales 3D, se han generado datos sintéticos a partir de los cuales se ha podido comparar los diferentes modelos de descomposición existentes y, finalmente, se han determinado las limitaciones y la resolución de la interpretación 2D de datos 3D.

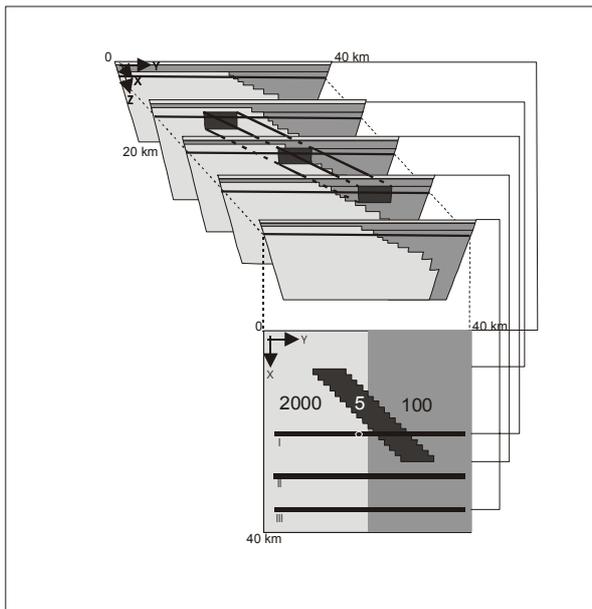


Figura 1 – Modelo geoelectrico regional 3-D utilizado para el presente estudio. Las líneas negras en la vista en planta, indican la posición de los perfiles. El círculo blanco en el perfil I indica la posición del sondeo 14.
(3-D electrical conductivity regional model used in this work. Black lines on XY view indicate the position of the profiles. Black circle in Profile I: position of site 14).

En los últimos años, los avances en tecnología y computación, han permitido desarrollar algoritmos y programas eficientes para el cálculo tridimensional de la respuesta electromagnética inductiva de un modelo de subsuelo tridimensional y complejo. La situación actual permite la interpretación 3D por “ensayo y error” a partir de estos algoritmos de solución del problema directo 3D, pero la inversión 3D no es todavía viable. La dificultad que se plantea es tanto el volumen de cálculo necesario como el coste experimental - se deberían realizar medidas de MT en una malla 3D densa -. Por otro lado, la metodología de la interpretación 2D está bien establecida y la inversión 2D de datos de MT se realiza de manera rutinaria. Por eso, es de suma importancia establecer la resolución y los límites de interpretación 2D de datos 3D.

2. METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos propuestos se modelaron distintas estructuras regionales 3D con el fin de diseñar la más apropiada. El modelo finalmente escogido (figura 1) consiste en un modelo regional 2D de un contacto inclinado cubierto por una capa conductora donde se ha incrustado un cuerpo 3D conductor alargado. Este modelo podría representar una intrusión post-tectónica. El cuerpo conductor presenta una dirección de *strike* de -45° respecto a la estructura 2D regional y se ha estudiado el efecto de la orientación del *strike* y de la longitud finita del *strike*. La respuesta del modelo se ha calculado para 31 periodos, desde 0.01 s hasta 1000s, con el programa de Mackie, et al. (1994), y las modificaciones introducidas recientemente (R. Mackie and J. Booker 2000, pers. comm.). Se han generado los datos sintéticos regionales de los tres perfiles indicados en la figura 1. Con el fin de verificar que el modelo regional tiene un importante comportamiento 3D se ha estudiado la dimensionalidad geoelectrica a partir de los invariantes de Weaver (Weaver et al., 2000) y de los parámetros de Barh (Barh, 1991). También se ha realizado la descomposición de Groom y Bailey GB (Groom and Bailey, 1989).

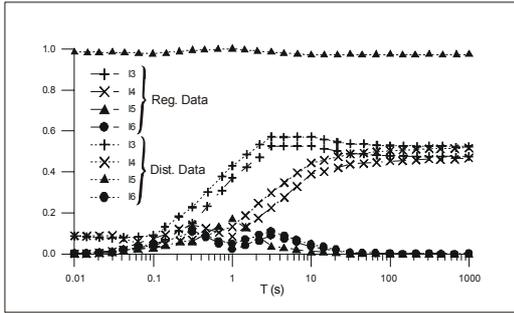


Figure 2. Los invariantes de Weaver et al. 2000 para el sondeo 14. Líneas discontinuas: respuesta 3-D; líneas con puntos, datos distorsionados. (Weaver et al's 2000 invariants I3, I4, I5 and I6 for site 14. Dashed line: 3-D response; Dotted line: distorted data).

Sobre estos datos sintéticos regionales se ha superpuesto una distorsión galvánica y ruido aleatorio. La distorsión galvánica se ha generado superponiendo al tensor de respuesta regional Z_R de cada sondeo del perfil I del modelo 3D, una matriz de distorsión C generada a partir de valores de *twist* y de *shear* aleatorios (*shear* entre -45° y 45° y *twist* entre -60° y 60°), con el fin de asegurar valores consistentes. Los parámetros de ganancia y anisotropía se han considerado unitarios. El ruido aleatorio aplicado sobre los datos ya distorsionados ha consistido en una dispersión aleatoria del 1% del valor absoluto de la componente más grande del tensor de impedancia de cada frecuencia.

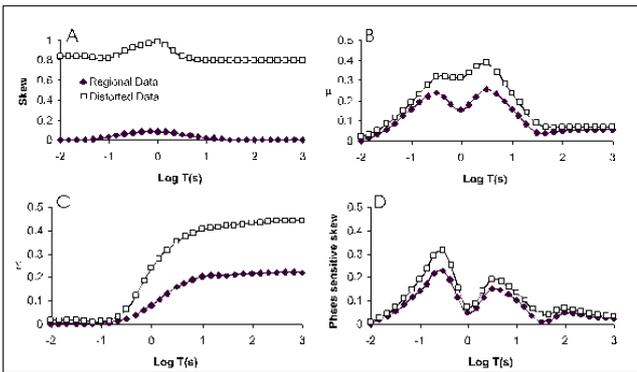


Figure 3. Parámetros de Bahr para el sondeo 14: datos regionales: rombos negros, datos distorsionados: cuadrados. A) Skew; B) μ ; C) Σ ; D) Phase sensitive skew η . (Bahr parameters for regional (black diamonds) and distorted (squares) data at site 014. A) Skew; B) μ parameter; C) Σ parameter; D) Phase sensitive skew η).

Las figuras 2 y 3 presentan los invariantes de Weaver y los parámetros de Bahr respectivamente, para los datos regionales y distorsionados. Estos datos distorsionados y afectados de ruido, se han invertido utilizando la metodología actual de interpretación bidimensional. Se han considerado diferentes modelos de descomposición para recuperar los datos regionales: caso A) correcciones de *static shift*, caso B) considerando el modelo de 3D/2D de descomposición de Groom and Bailey (1989) y el algoritmo de McNeice y Jones (2001) para recuperar el *strike* regional, y, caso C) considerando el modelo 3D/2D/3D de descomposición de Ledo et al. 1998. Para el caso B se han considerado 2 bandas de frecuencias invirtiendo separadamente cada una con el *strike* apropiado.

Para los perfiles II y III (figura 1) se han realizado directamente la inversión de los datos regionales sin distorsionar. El objetivo de estos perfiles se centra en conocer el efecto de la extensión finita del *strike*

y de la posición del perfil respecto al cuerpo 3D. Para todas las inversiones se ha utilizado el código de Rodi y Mackie (2001) considerando un error umbral del 5% para la resistividad aparente y 1.4° para las fases. El modelo inicial en todos los casos es un medio semiinfinito de $100 \Omega.m$.

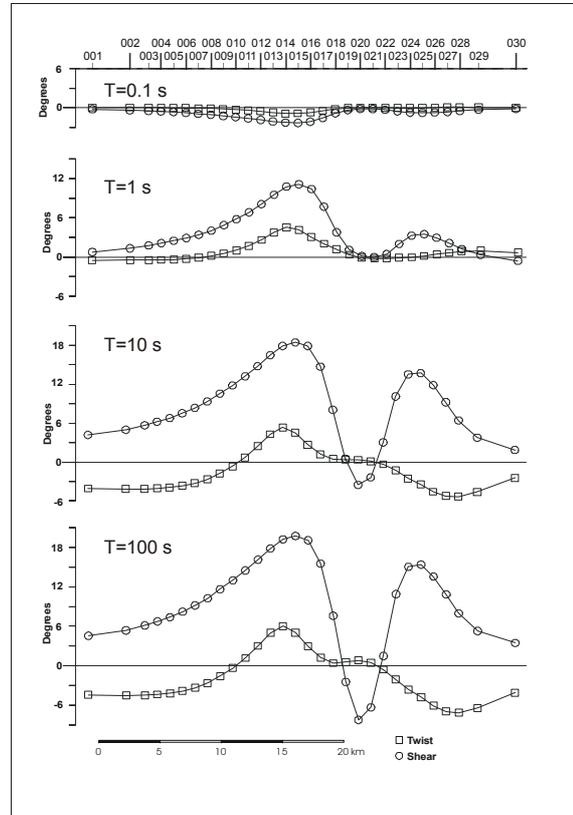


Figure 4. Parámetros de Groom y Bailey a lo largo del perfil I para cuatro periodos distintos. Círculos: shear; cuadrados: twist. (Groom and Bailey parameters along the profile I used for four different periods. Circles: shear; squares: twist).

3. RESULTADOS

En la figura 5 se presentan diferentes modelos obtenidos a partir de la inversión 2D de los datos 3D y en la tabla 1 se resumen las características de los procesos de inversión realizados. La figura 5A presenta la sección vertical del modelo 3-D bajo el perfil I. Las figuras 5B a 5J muestran los modelos finales obtenidos en las inversiones 2D. Para visualizar como estos modelos detectan las estructuras originales, se han marcado estas con una línea continua sobre los modelos.

4. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se puede concluir la importancia de realizar la corrección galvánica de los datos con el modelo de descomposición más tridimensional posible. Las principales estructuras – posición del cuerpo conductor y profundidad en la que se encuentran – quedan recuperadas en casi todos los modelos finales de las inversiones, pero el poco ajuste entre los datos de los modelos y los datos originarios podrían hacer desestimar las inversiones realizadas.

Cuando la estructura conductora 3D se encuentra bajo el perfil, el modelo obtenido muestra que el efecto finito del *strike* no es significativo si la estructura presenta un *strike* más grande que medio *skin depth*. La inversión considerando únicamente el modo TM, converge mucho más rápidamente que la inversión conjunta de TE y TM, de lo que se desprende que el modo TM están menos afectados de los efectos 3D. Cuando el perfil no está localizado sobre la estructura 3D es más apropiado invertir los dos modos TE y TM simultáneamente, ya que el modelo resultan de la inversión de sólo el modo TM muestra una estructura conductora que no se corresponde con la sección bajo el perfil.

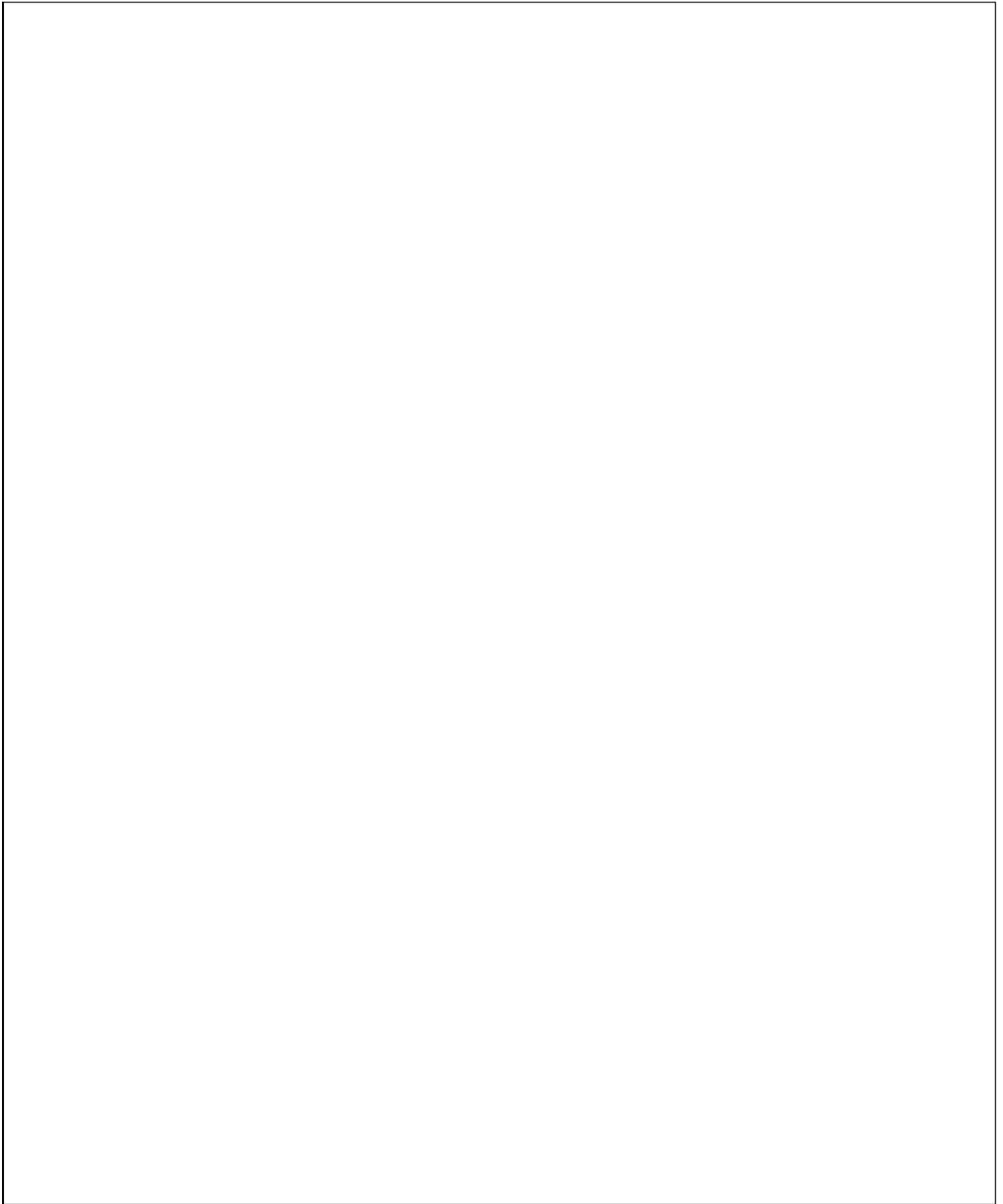


Figure 5. A: sección vertical del modelo 3-D bajo el perfil I (ver fig. 1). **B a J:** Diferentes modelos obtenidos en las inversiones 2D. Ver detalles en tabla 1 .

(A: the vertical slice of the 3-D model beneath the profile I (see fig.1). B to J, different models obtained from 2-D inversions. See table 1 for details).

Tabla 1. Resumen de los resultados de las inversiones 2D realizadas (Summary of results from different 2D inversions)

		Modo	n. iteraciones	RMS	strike	modelo
	Caso A (static shift)	TM y TE	37	5.9	0 ⁰	5 B
Perfil I	Caso B (3D/2D)	TM y TE (100-1 Hz)	34	2.2	-39 ⁰	5 C
		TM y TE (1-1000s)	57	3.2	-7 ⁰	5 D
		TM y TE	54	2.0	0 ⁰	5 E
	Caso C (3D/2D/3D)	TM	16	1.0	0 ⁰	5 F
Perfil II	regional	TM y TE	70	1.6	0 ⁰	5 G
		TM	25	1.0	0 ⁰	5 H
Perfil III	regional	TM y TE	31	1.0	0 ⁰	5 I

1. REFERENCIAS

- Bahr, K. (1991). "Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types". *Physics. Earth. Planet. Inter.*, 66, 24-36.
- Groom, R.W. and Bailey, R.C., (1989). "Decomposition of magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distortion." *J. Geophys. Res.*, 94, 1913-1925.
- Ledo, J.J., Queralt, P. and Pous, J. (1998). "Effect of galvanic distortion on magnetotelluric data over a three-dimensional regional structure". *Geophys. J. Int.*, 132, 295-301.
- Mackie, R.L., Smith, J.T. and Madden, T.R. (1994). "Three-dimensional electromagnetic modelling using finite difference equations: the magnetotelluric example". *Radio Sci.*, 29, No. 4, 923-935.
- McNeice, G. W. And Jones, A.G. (2001). "Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data". *Geophysics*, 66, 158-173.
- Rodi, W. & Mackie, R.L., 2001. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187.
- Weaver, J.T., Agarwall, A.K. and Lilley, F.E.M., (2000). "Characterization of the magnetotelluric tensor in terms of its invariants". *Geophys. J. Int.*, 14, 321-336.