



Corrección de errores de nivelación de datos Aerogeofísicos

O.M. Zambrano¹ y A.M. Gulisano^{1,2,3}

¹ Instituto Antártico Argentino, DNA, Argentina. omzambrano1966@gmail.com

² Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.

³ Instituto de Astronomía y Física del Espacio (UBA-CONICET), Argentina.

Resumen

En el presente trabajo se realiza una mejora a la técnica de correlación línea a línea (line-to-line correlation) para la remoción de errores de nivelación de datos geofísicos obtenidos mediante prospección aérea. Esta técnica, bajo la hipótesis de continuidad y fuerte correlación de los registros de perfiles de líneas de vuelo adyacentes, logra la nivelación mediante la construcción de un filtro funcional mediante una ventana móvil en una dimensión. Se aplica este filtro línea a línea en forma recursiva logrando disminuir los errores de nivelación y ajustarlos en el sentido de los cuadrados mínimos.

Nuestra mejora consiste en la implementación de la técnica mediante la aplicación de filtros n -dimensionales, sobre bases de sucesiones polinomiales ortogonales. El procedimiento utilizado consistió en la generación de datos sintéticos a los cuales se les introdujo errores de nivelación ad-hoc de diferentes características típicas para simular los encontrados en una aeroprospección real. Luego aplicamos la técnica con este método mejorado como si se tratase de datos reales y comparamos con los datos sintéticos sin error de nivelación. Hemos hallado los rangos en que las bases ortogonales de Legendre y Chebyshev mejoran notablemente la estabilidad y resultados de la técnica, respecto de la implementación usando la base canónica.

Luego se ha aplicado la técnica mejorada a un registro aeromagnético real adquirido sobre el área volcánica del Archipiélago James Ross, en el Mar de Weddell, en el extremo nororiental de la Península Antártica, obteniendo un muy buen resultado en la remoción de los errores de nivelación de la prospección. La remoción efectiva de los errores de nivelación resulta de fundamental importancia para lograr obtener, a partir de la inversión de los datos, modelos consistentes y representativos de la realidad geofísica que intenta describirse.

Palabras clave: Nivelación aeromagnética, correlación línea a línea, polinomios ortogonales.

Introducción

La programación de patrones regulares de líneas de vuelo en los relevamientos aerogeofísicos ofrece la oportunidad de realizar correlaciones entre datos de perfiles adyacentes paralelos entre sí. Las últimas técnicas de nivelación propuestas para datos aeromagnéticos se inclinan a evitar el uso de las líneas de cierre como líneas de control para la nivelación (p.ej. Mairing y Kihle, 2006; Huang, 2008; Fan et al., 2016; y citas dentro de estos trabajos), en contraposición a las técnicas de nivelación que fueron desarrolladas en los comienzos de la prospección geofísica aeromagnética (p.ej. Luyendyk 1997; y citas dentro de este trabajo). En una de las técnicas propuestas, Huang (2008) propone un filtro polinomial en base canónica que opera como ventana móvil 1D, realizando correlaciones línea a línea: CLL (line-to-line correlations), estimando recursivamente el error de nivelación en cada línea (y en consecuencia su corrección) como el mínimo valor de la norma euclídea de la

diferencia entre (a): la diferencia entre perfiles adyacentes y (b): el filtro polinomial. El algoritmo del correspondiente método parte de un perfil inicial supuesto libre de errores de nivelación.

En el presente trabajo proponemos para la técnica *CLL*, la utilización de filtros *k*-dimensionales construidos con los *k*+1 primeros elementos de las bases ortogonales de polinomios de Legendre y de Chebyshev. La estimación del error de nivelación para cada perfil se realiza en (y se define como) la mínima distancia (en norma vectorial) al subespacio generado por las correspondientes bases.

Aplicamos la técnica *CLL* con los filtros propuestos a datos sintéticos (ver Fig.1, Fig. 2 y Fig. 3) y a datos reales (ver Fig. 4 y Fig. 5), y encontramos una remoción altamente efectiva de los errores de nivelación, en contraste con la obtenida cuando se emplea la base canónica (ver Fig. 3). El método resulta estable cuando el número de elementos de la base empleada (base Chebyshev o base Legendre), se encuentra entre 30 y 40, aproximadamente. (ver Fig. 3 y Fig. 4). A su vez, el error relativo que comete el filtro al estimar el error de nivelación, en la región de estabilidad, se encuentra por debajo del umbral del mínimo estadístico aceptable menor o igual al 5%, hecho que no se verifica cuando se aplica el filtro en base canónica.

Materiales y métodos

Para realizar el testeo de la técnica *CLL* con los filtros propuestos, generamos datos sintéticos de anomalías magnéticas a partir del modelo físico-matemático de dipolos magnéticos. Computamos la anomalía de campo total para distintas distribuciones de cuerpos prismáticos, uniformemente magnetizados, con magnetización similar a la observada en las rocas volcánicas básicas (ver Fig.1), con el objeto de simular la configuración del campo producido por cuerpos volcánicos reales. A los datos sintéticos se les introdujo errores de nivelación constante y con deriva (ver Fig. 2), típicos a los observados en una aeroprosección real (Huang, 2008).

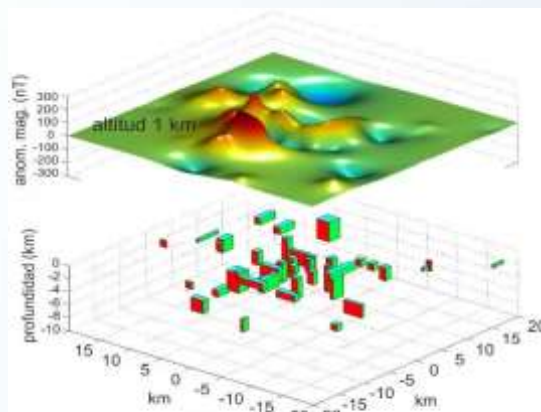


Figura 1: Modelo sintético (a escala kilométrica) de anomalía magnética de campo total generada por una distribución de cuerpos uniformemente magnetizados.

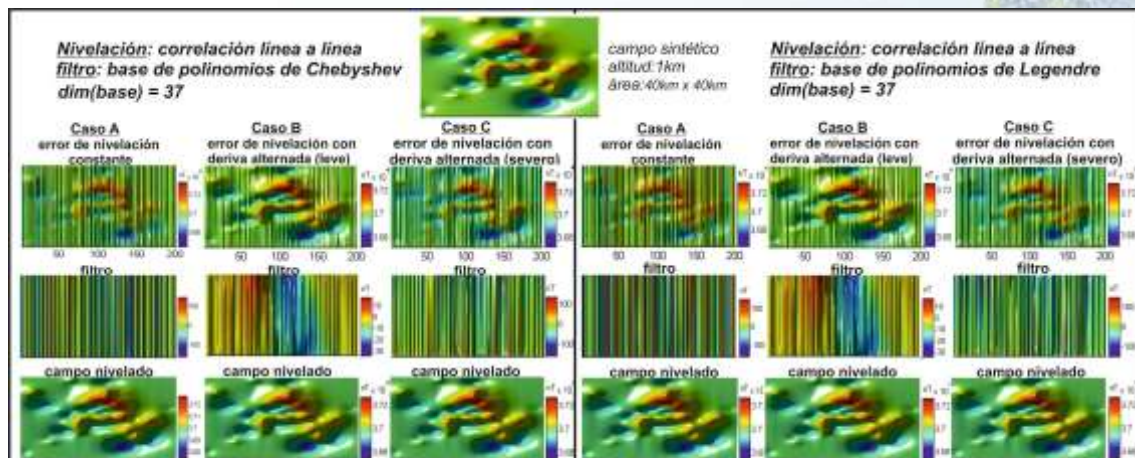


Figura 2: Aplicación del método de nivelación correlación línea a línea: *CLL* (Huang, 2008) en datos sintéticos con errores de nivelación típicos de una aeroprosección real. En este ejemplo, se implementa un modelo de filtro *n*-dimensional construido por la combinación lineal de los *n*= 37 primeros polinomios de la base ortogonal de Chebyshev (a izquierda) y de Legendre (a derecha).

En una segunda etapa testeamos con datos de anomalías magnéticas reales afectadas con errores de nivelación pertenecientes a un registro adquirido sobre el área volcánica del Grupo Volcánico Isla James Ross, en Antártida (ver Fig.4 y Fig. 5).

La técnica CLL fue probada exhaustivamente variando en forma sistemática los distintos parámetros del problema: dimensión de las bases, configuración del campo y tipos de errores de nivelación.

Se realizaron pruebas con campos generados por 10, 20 y 40 cuerpos magnetizados. Se introdujeron ruidos de nivelación de tipo uniforme (con y sin alternancia del signo: 10-100 nT) y con deriva leve (10-15 nT) y severa (50-150 nT). Los ruidos fueron asignados en forma aleatoria a las líneas, modificando su densidad de empaquetamiento en el conjunto. Se muestran algunos ejemplos y resultados en la Figura 2.

Resultados y discusión

En todos los casos sintéticos testeados, los filtros en las bases de Legendre y Chebyshev logran remover el ruido, con un error relativo porcentual inferior al 5%, allí donde el filtro estabiliza su norma (ver Fig. 3). La estabilidad del método se alcanza con bases constituidas por 30 a 40 elementos, aproximadamente. Es en dicho rango donde la nivelación de los datos resulta óptima, tanto cualitativa como cuantitativamente (ver Fig. 2 y Fig. 3).

En base canónica, el rango de estabilidad del método es mayor (desde 1 a 50 elementos de la base), sin embargo la estimación del ruido resulta muy deficiente, con un error relativo porcentual de alrededor del 20%, lo que hace a este filtro muy ineficiente para remover errores de nivelación.

En contraposición, los filtros en las bases de Legendre y Chebyshev separan eficientemente el ruido de la señal, operando con un margen de error relativo óptimo en la región de estabilidad del método menor a 0.05; convirtiéndolos en filtros efectivos y eficientes para remover errores de nivelación (ver Fig. 3).

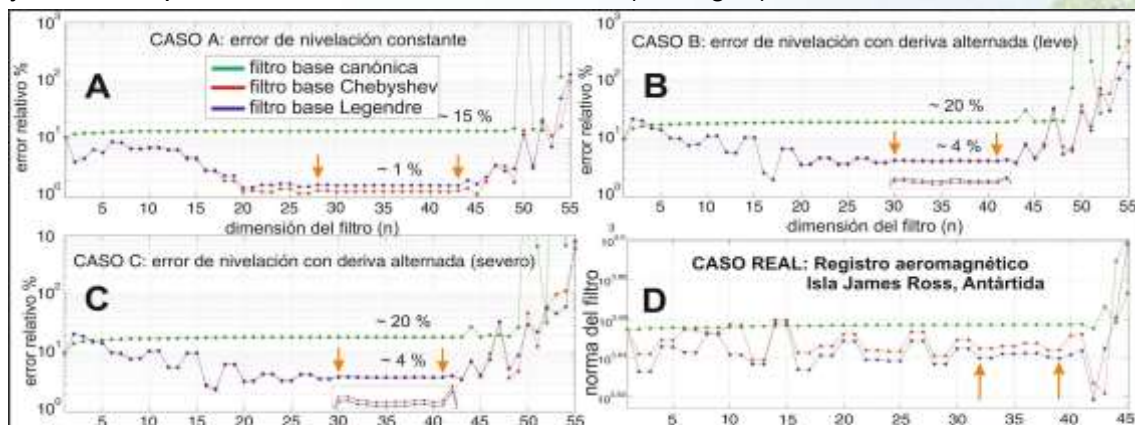


Figura 3: Nivelación por correlación línea a línea (Huang, 2008). **A, B y C** (Pruebas con datos sintéticos): Representación del error relativo porcentual (en norma 2) que cometen los filtros en base canónica, Legendre y Chebyshev, en función de la dimensión de las respectivas bases. **D** (Pruebas con datos reales): norma de los filtros en base canónica, Legendre y Chebyshev, en función de la dimensión de las respectivas bases. Las flechas delimitan la región de estabilidad y óptimo alcanzados por los filtros propuestos. Nótese la superioridad de los filtros en base Chebyshev y Legendre, en lo que respecta a la estimación de los errores de nivelación por debajo de un margen estadísticamente aceptable menor al 5 %.

En las pruebas con datos reales no es posible determinar cuantitativamente el error relativo de las estimaciones logradas por los filtros, sin embargo la observación de la variación de la norma del filtro en función de la dimensión de la base revela una clara correspondencia con su error relativo, lo cual nos permite estudiar el comportamiento del filtro a partir de la observación de su norma (ver Fig. 3). En lo que respecta a la efectividad de la remoción de los errores de nivelación, las observaciones visuales con datos reales resulta consistente con las predichas por las pruebas sintéticas (ver Fig.

4 y Fig. 5), al igual que ocurre con el rango de estabilidad del método (ver Fig. 3). En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados de la nivelación que realizamos con datos de una aeroprospección en Antártida (Ghidella et al., 2013; y citas dentro este trabajo). Logramos filtros óptimos con dimensiones 32 a 40 en las bases Chebyshev y Legendre, y una remoción eficiente de los errores de nivelación. Las anomalías magnéticas, de alta frecuencia e intensidad, delatan la presencia de cuerpos volcánicos y subvolcánicos que conforman la estructura del Estratovolcán Haddington en la Isla James Ross, Antártida (ver Fig. 5).

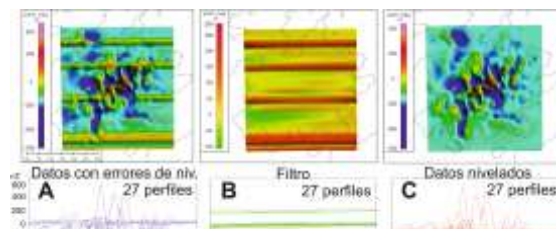


Figura 4. Nivelación por correlación línea a línea (Huang, 2008) aplicada a datos aeromagnéticos reales con errores de nivelación. Mapas y perfiles aeromagnetométricos: A) datos con errores de nivelación, B) filtro estimado y C) datos nivelados.

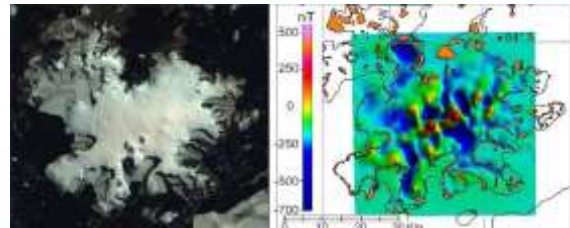


Figura 5: Izq.: imagen satelital de la Isla James Ross, Antártida. El manto glaciar de la isla cubre al Estratovolcán Haddington y a centros efusivos subsidiarios periféricos pertenecientes al Grupo Volcánico Isla James Ross, del Neógeno al Reciente (Ghidella et al., 2013, y citas dentro de este trabajo). Der.: Campo de anomalías magnéticas nivelado y correlación con las unidades volcánicas.

El costo computacional de nuestra implementación es del mismo orden que el de otras técnicas de nivelación polinomial que utilizan filtros con ventanas móviles unidimensionales (ej. Huang, 2008; y citas dentro de este trabajo), y tiene menor costo que las técnicas basadas en ventanas bidimensionales (Fan et al., 2016; y citas dentro de este trabajo) resultando cualitativa y cuantitativamente superior al de las técnicas polinomiales mencionadas.

Conclusiones

En el presente trabajo proponemos una mejora a la técnica de nivelación *CLL* (para nivelación de datos aeromagnéticos) implementando filtros *n*-dimensionales basados en funciones polinomiales ortogonales. Proponemos como filtros, bases construidas por sucesiones finitas de polinomios de Chebyshev y Legendre, y mostramos que dichas bases resultan muy eficientes, tanto cualitativa como cuantitativamente, para remover errores de nivelación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al árbitro por sus comentarios que han resultado de gran utilidad.

Referencias

- Fan, Z., L. Huang, X. Zhang, and G. Fang, 2016. An elaborated designed virtual frame to level aeromagnetic data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 13. NO. 8.
- Ghidella, M.E., O.M. Zambrano, F. Ferraccioli, J.M. Lirio, A.F. Zakrajsek, T.A. Jordan and J. Ferris, 2013. Analysis of James Ross Island volcanic complex and sedimentary basin based on aeromagnetic data. *Tectonophysics*, 585, 90-101.
- Huang, H., 2008. Airborne geophysical data leveling based on line-to-line correlations. *Geophysics*, 73, no. 3, F83-F89.



Luyendyk, A.P.J., 1997. Processing of airborne magnetic data. *AGSO Journal of Australian & Geophysics*, 17 (2): 31-38.

Mauring, E. and O. Kihle, 2006. Levelling aerogeophysical data using a moving differential median filter. *Geophysics*, 71, no. 1, L5-L11.