

Caracterización geoelectrica de depósitos superficiales en la Antártida Occidental (Isla Livingston, Islas Shetland del Sur)

Geoelectrical characterization of superficial deposits in Western Antarctica (Livingston Island, South Shetland Islands)

A. Muñoz Martín (*), J. Giner (**), J.M. González-Casado (**), J. López-Martínez (**), J.J. Durán (***), P. Gumiel (***), y E. Serrano (****)

(*) Dpto. de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

(**) Dpto. Q. A., Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

(***) Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

(****) Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Cantabria. 39005 Santander.

ABSTRACT

The geophysical study of superficial deposits (mainly gravels) in ice-free areas near the seashore in the South Shetland Islands (Antarctica) allows establishing the possible existence of permafrost and buried ice bodies. In this work we have investigated the internal structure of Quaternary sediments using the resistivity method (vertical electric sounding, V.E.S.), with the purpose of establishing the resistivity values of the different materials and their geometry. We present here the results obtained from 17 vertical electric soundings carried out in Caleta Española, (north coast of Hurd Peninsula), and in the surroundings of Caleta del Glaciar Rocosó (south coast of Hurd Peninsula), both in Livingston Island. Vertical electric soundings interpretation has allowed us to characterise different units from the resistivity values (active layer, permafrost, buried ice, Quaternary deposits and their basement), and to establish the inter-phase between sea water and continental water. Moreover, with the resistivity method we have deduced the spatial distribution of some of these beds. In this way the permafrost (with resistivity values ranging between 13000 and 35000 $\Omega \cdot m$), and the associated active layer, is restrained to shallow depths (< 2 m) and located in the surveyed areas faraway from the seaside (i.e. mainly in the upper raised beaches). Buried ice under coarse Quaternary deposits have resistivity values of one major order magnitude than the permafrost (> 60000 $\Omega \cdot m$) and has been only found in the studied rock glacier.

Key words: geophysical prospecting, resistivity, Quaternary deposits, permafrost, Western Antarctica.

Geogaceta, 27 (1999), 123-126

ISSN: 0213683X

Introducción

Los depósitos superficiales holocenos formados por gravas y bloques de origen marino y continental son relativamente abundantes en las áreas libres de hielo en las Islas Shetland del Sur. El estudio geofísico de estos depósitos no consolidados permite investigar, entre otras cosas, la posible presencia de permafrost o de núcleos de hielo enterrado, lo cual presenta interés para el seguimiento de posibles cambios ambientales. Una de las propiedades geofísicas que permite analizar la distribución de estos niveles es la resistividad, debido a que la presencia de material helado, o un alto contenido en hielo, disminuye drásticamente sus valores. Además, el análisis de resistividades mediante el método geoelectrico permite diferenciar y, en cierto modo, caracterizar los diferentes niveles cuaternarios, el basamento pre-Holoceno,

y la posible presencia de intrusiones de agua salada en las zonas más próximas al mar.

El objetivo de este trabajo es la caracterización geoelectrica de depósitos superficiales en la Isla Livingston (Islas Shetland del Sur, Antártida Occidental) mediante la utilización del método de resistividades con sondeos eléctricos verticales (S.E.V.). En el ámbito antártico existen escasos trabajos publicados sobre prospecciones geoelectricas en este tipo de zonas descubiertas de hielo, y sobre todo en niveles de playa (e.g. Reynolds y Paren, 1980; Iribarren y Carranza, 1990; Hyoung-Soo *et al.*, 1996; Bergamín *et al.*, 1997; González-Casado *et al.*, 1999). En este sentido, desde un punto de vista metodológico, los resultados obtenidos permiten discutir la utilidad y los límites de aplicación del método de resistividades bajo condiciones antárticas.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en 17 sondeos eléctricos

verticales (S.E.V.) realizados en dos áreas distintas de la Isla Livingston (Fig. 1): 11 sondeos en la Caleta Española y 6 sondeos en los alrededores de la Caleta del Glaciar Rocosó.

Situación geológica

Las islas de la zona central del archipiélago de las Shetland del Sur están formadas, fundamentalmente, por rocas volcánicas y plutónicas calcoalcalinas de edades comprendidas entre el Cretácico y el Terciario. Estas rocas forman parte de un arco magmático generado por el proceso de subducción de la Placa Drake bajo la Placa Antártica, que tuvo lugar en esta zona durante el Mesozoico y el Cenozoico.

No obstante, en los afloramientos rocosos de la Península Hurd predominan las secuencias de rocas sedimentarias de la Formación Miers Bluff, que pertenecen a una basamento anterior al arco

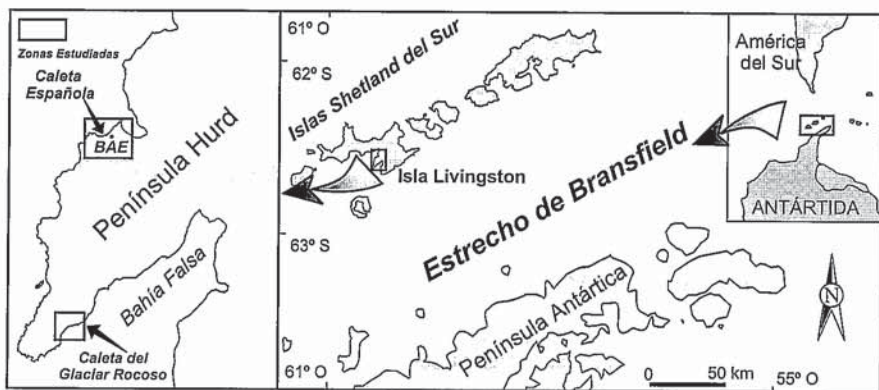


Figura 1. Localización de las zonas estudiadas en la Península Hurd. BAE: Base antártica española Juan Carlos I.

Figure 1. Location of the studied areas in Hurd Peninsula. BAE: Spanish Antarctic station Juan Carlos I.

nas costeras desprovistas de hielo y están formados por cantos redondeados, centimétricos a decimétricos, en una matriz arenosa. Los depósitos de playa se pueden encontrar hasta varias decenas de metros por encima del nivel del mar debido a procesos glacioeustáticos, glacioisostáticos y tectónicos. Los espacios entre los granos pueden estar ocupados por hielo (permafrost), agua, y, en las zonas cercanas a la costa, por agua marina.

Los dos depósitos estudiados en el presente trabajo son buenos ejemplos, representativos de dos importantes tipos de formaciones superficiales cuaternarias de la Antártida Occidental.

El primero de ellos se localiza en la Caleta Española (Fig. 1) y corresponde a depósitos de playa. En este lugar existe un notable conjunto de playas levantadas, situado entre el nivel del mar y los 20 m de altitud. Se distinguen 8 niveles de playas, bien diferenciados, así como, en sus alrededores, una sucesión de hasta 6 morrenas a distintas altitudes. Han sido estudiados con anterioridad los aspectos geomorfológicos de este sector, incluyendo la cartografía de las formas y depósitos superficiales (e.g. Martínez de Pisón *et al.*, 1991; López-Martínez *et al.*, 1991, 1992a, 1992b), así como ciertos aspectos geofísicos de los depósitos sobre los que se sitúan los niveles de playas levantadas (Bergamín *et al.*, 1997; González-Casado *et al.*, 1999).

El segundo depósito estudiado, se encuentra en la costa de Bahía Falsa y corresponde a un glaciar rocoso constituido por derrubios y con morfología de lengua, que está situado entre los 18 y los 110 m de altitud (López-Martínez *et al.*, 1992a, 1992b).

Método

Para la prospección geoelectrica hemos utilizado un georresistímetro con lectura digital y control automático de la polaridad (Pasi E2 Digit). La sensibilidad del equipo de resistividades es de 0,1 mV y 0,1 mA. Se ha utilizado una fuente de alimentación de corriente continua, que proporciona hasta 350 V con 160 mA. El dispositivo eléctrico utilizado en todos los sondeos eléctricos ha sido el Schlumberger, y la apertura de AB/2 máxima ha sido de 160 m, suficiente para analizar los depósitos superficiales. Los sondeos eléctricos verticales han sido analizados mediante un sistema de inversión automática, y se ha procedido a un análisis de equivalencia para comprobar el rango de incertidumbre de los resultados en profundidad.

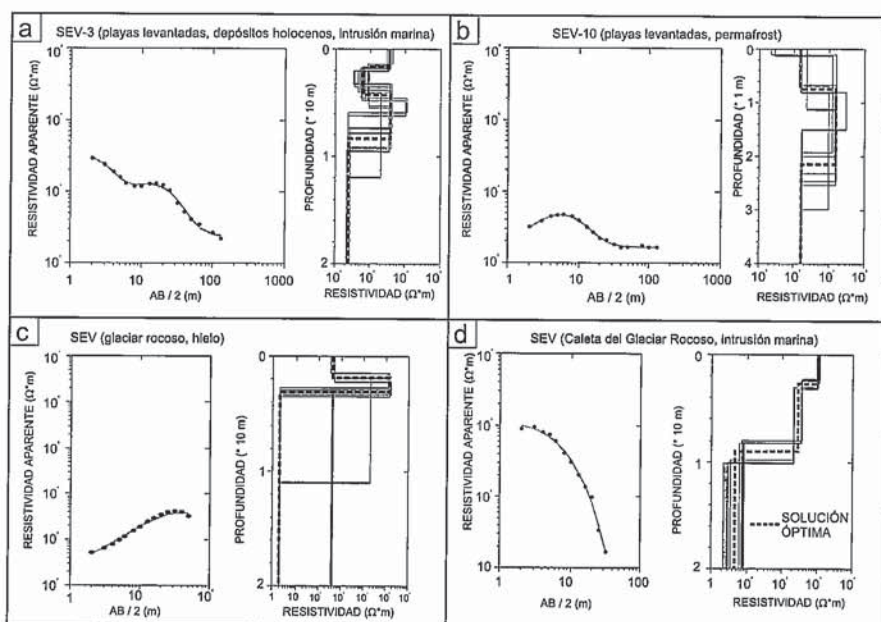


Figura 2. Ejemplos de curvas de resistividad aparente ($\bar{\rho}_a$) frente a la semiapertura eléctrica (AB/2) y resultados del análisis de equivalencia en cuatro S.E.V. a) Capas correspondientes a niveles holocenos, b) nivel de permafrost ($\rho > 10^4 \Omega^*m$), c) Hielo enterrado en el glaciar rocoso ($\rho > 10^5 \Omega^*m$), y d) Nivel con agua del mar ($\rho < 10 \Omega^*m$).

Figure 2. Plots of apparent resistivity (ρ_a) versus AB/2 electrode aperture, and equivalence analysis in four V.E.S. a) Holocene beds, b) permafrost ($\rho > 10^4 \Omega^*m$), c) buried ice ($\rho > 10^5 \Omega^*m$) and d) sea water ($\rho < 10 \Omega^*m$).

magmático mesozoico. Esta formación, de más de 3.000 m de potencia, está constituida por una alternancia de gravuvas, pizarras, arenas arcóscas, lutitas y conglomerados (e. g. Hobbs, 1968; Dalziel, 1969; Smellie *et al.*, 1984; Arche *et al.*, 1992; Pallàs *et al.*, 1992). La edad establecida para estos materiales (permo-triásica) ha sido definida inicialmente mediante la correlación con otras secuencias similares de la Península Antártica. En la Península Hurd y en la zona de Bahía Falsa (Fig. 1), existen también afloramientos graníticos, así como enjambres

de diques básicos que intruyen en mayor o menor medida gran parte de los materiales anteriormente descritos.

En ciertas zonas, los materiales citados están recubiertos por depósitos cuaternarios de diferentes orígenes. Se puede encontrar, principalmente, tills y morrenas, derrubios de ladera y depósitos de playa (cantos y bloques, más o menos redondeados y con una cantidad variable de matriz, que pueden tener en ocasiones los huecos rellenos de hielo). Estos últimos depósitos son abundantes en las zo-

Resultados

En la figura 2 se muestran cuatro ejemplos de curvas de resistividad aparente (ρ_a) frente a la semiapertura eléctrica ($AB/2$), y la interpretación de las mismas realizadas a partir de la inversión de los datos. Además, se muestran los rangos de variación en los valores de resistividad y espesor de las capas obtenido a partir del análisis de equivalencia, que permiten contrastar el error en la interpretación. El análisis de los resultados numéricos, junto con las observaciones de campo, ha permitido distinguir cuatro tipos de materiales en función de sus rangos de resistividad:

a) **Depósitos holocenos.** Tienen un rango de resistividades de entre 200 y $10^4 \Omega \cdot m$ (Figs. 2a y 4), y están constituidos por gravas y arenas no consolidadas en proporción variable.

b) **Permafrost** (Figs. 2 y 3). En el área estudiada presenta un espesor pequeño ($<1,5$ m), y un rango de variación de resistividades entre $13 \cdot 10^3$ y $35 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$. Si se analiza la distribución de espesores y posición espacial de los sondeos eléctricos en los que se ha detectado la presencia de permafrost en la Caleta Española (Fig. 3), se puede apreciar que todos ellos aparecen al pie del resalte rocoso que limita por el sur la caleta. De este modo, parece que la distribución del permafrost, unido a su pequeño espesor, indica que éste solo ocupa posiciones alejadas de la influencia marina y a una cierta cota (>15 m).

c) **Hielo enterrado:** En la costa de Bahía Falsa, por debajo del nivel de gravas y bloques que constituye el glaciar rocoso, se ha detectado un nivel de alta resistividad ($>60.000 \Omega \cdot m$) y de pequeño espesor (<2 m) que se encuentra a lo largo de toda la lengua del glaciar rocoso. Este nivel ha sido interpretado como hielo situado entre los bloques de la parte superior de esta formación superficial y el basamento rocoso (Fig. 2c), aunque debido a la baja conductividad eléctrica del nivel de hielo es difícil precisar la posición del basamento por debajo del nivel del hielo.

d) **Intrusiones de agua marina** (Figs. 2a y 2d): Los sondeos eléctrico más próximos al mar muestran un nivel de baja resistividad ($<10 \Omega \cdot m$) que ha sido interpretado como correspondiente al contacto con el agua salada del mar que intruye en los sedimentos cuaternarios. Cabe destacar que los valores de resistividad obtenidos son significativamente mayores que los que se obtienen en latitudes medias, lo que es probablemente debido a que la resistividad eléctrica es

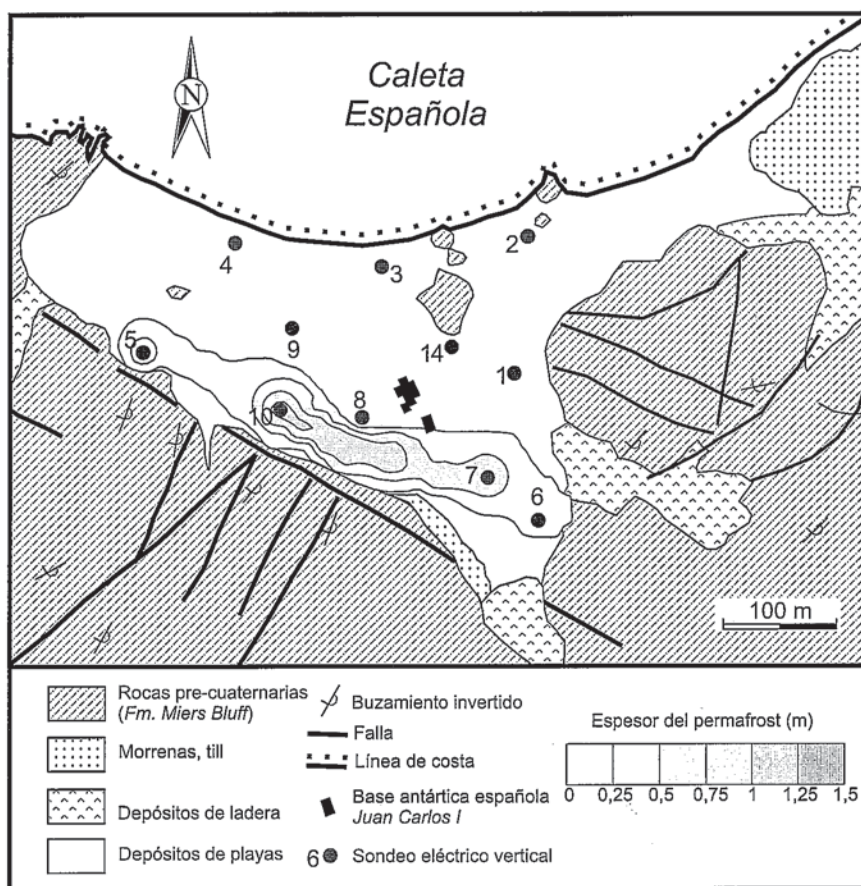


Figura 3. Esquema geológico de la Caleta Española (modificado de González-Casado *et al.*, 1999), en el que se muestra el mapa de isopacas del nivel de permafrost deducido. El permafrost tiene un espesor menor de 1,5 m, y está localizado en las zonas altas (15 - 20 m) del depósito cuaternario, próximas a los escarpes que limitan la caleta.

Figure 3. Geological sketch of the Caleta Española (based on González-Casado *et al.*, 1999), inside is showed the isopach map of the deduced permafrost from resistivity analysis. The permafrost has thickness <1.5 m and is located in the highest areas (15-20 m) of the Quaternary deposits, close to the rock scarp limit.

in-versamente proporcional a la temperatura (Hoekstra y McNeill, 1973).

Conclusiones

La prospección geoelectrica con sondeos eléctricos verticales en dos zonas de la Península Hurd, con diferentes tipos de depósitos superficiales, ha permitido:

- Caracterizar desde los puntos de vista geoelectrico (Fig. 4) y espacial (e. g. Fig. 3) diferentes unidades: permafrost, hielo enterrado, depósitos holocenos e intrusiones de agua marina. De este modo, los niveles de permafrost presentan unos valores de resistividad casi un orden de magnitud menor que los del hielo situado en el núcleo del glaciar rocoso estudiado ($\rho_a < 40 \cdot 10^3$ y $> 60 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$, respectivamente).

- Deducir la distribución espacial de algunas de las unidades citadas. En este sentido, se han localizado áreas de permafrost poco potente ($<1,5$ m) en los ni-

veles superiores de las playas levantadas holocenas en la Caleta Española, y se ha calculado la posición del agua salada en los niveles más próximos a la línea de costa.

Por lo que respecta a los valores de resistividad calculados para los niveles de permafrost y hielo enterrado, están de acuerdo con las cifras obtenidas por otros autores (e. g. Mc Ginnis y Jensen, 1971; Reynolds y Paren, 1980). Finalmente, de los resultados obtenidos, cabe deducir que el método de resistividades es apropiado para estudiar la presencia de permafrost y cuerpos de hielo enterrado en niveles superficiales, en las condiciones y zonas en las que se llevó a cabo este estudio (verano austral en la Antártida marítima).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto ANT98-0225 de la CICYT.

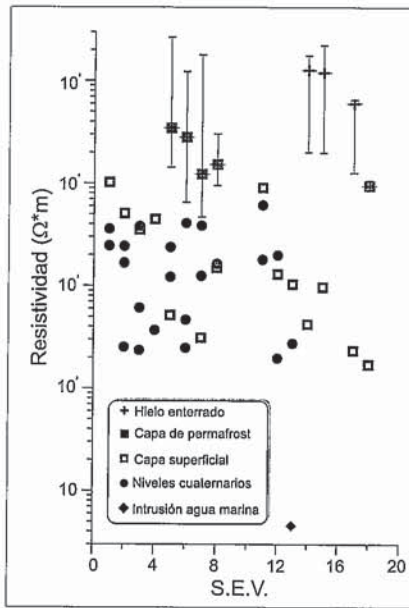


Figura 4. Valores de resistividad ($\Omega \cdot m$) obtenidos en los diferentes S.E.V. para los cuatro tipos diferentes de materiales deducidos (ver texto para la explicación).

Figure 4. Resistivity values obtained from the V.E.S. for the four different deduced materials (see text for explanation).

Referencias

Arche, A., López-Martínez, J. y Marfil, R. (1992): *In Geología de la Antártida Occidental*. López-Martínez, J. (Ed.); Simposios, T3. III Congreso Geológico de España. Salamanca: 93-105.

Bergamín, J.F., Durán, J.J., González-Casado, J.M. y López-Martínez, J. (1997): *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 93 (1-4): 189-196.

Dalziel, I. W. (1969): *Antarctic Jour. United States*, 4: 137 pp.

González-Casado, J.M., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (1999): *Antarctic Science*, 11 (3): 323-331.

Hobbs, G. J. (1968): *British Antarctic Survey Reports*, 47: 34pp.

Hyoung-Soo, K., Sang Heon, N. y Yeadong, K. (1996): *Korean Journal of Polar Research*, 7 (1-2): 110-111.

Iribarren, M. y Carranza, J. (1990): *Serie Científica INACH*, 40: 95-100.

López-Martínez, J., Martínez de Pisón, E. y Arche, A. (1991): *Geogaceta*, 9: 44-47.

López-Martínez, J., Martínez de Pisón, E. y Arche, A. (1992a): *In Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Y. Yosida *et al.* (Eds.), Terrapub. Tokyo: 751-756.

López-Martínez, J., Vilaplana, J.M., Martínez de Pisón, E., Calvet, J., Arche, A., Serrat, D. y Pallàs, R. (1992b): *In Geología de la Antártida Occidental*. López-Martínez, J. (Ed.), Simposios, T3. III Congreso Geológico de España. Salamanca. 271-281.

Martínez de Pisón, E., López-Martínez, J. y Arche, A. (1991): *Ería*, 24/25: 39-45.

Mc Ginnis, L.D. y Jensen, T.E. (1971): *Quaternary Research*, 1 (3): 389-409.

Pallàs, R., Muñoz, J.A. y Sàbat, F. (1992): *In Geología de la Antártida Occidental*. López-Martínez, J. (Ed.), Simposios T3. III Congreso Geológico de España. Salamanca. 105-115.

Reynolds, J.M. y Paren, J.G. (1980): *Nature*, 283 (5742): 63-64.

Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Thomson, M.R.A. y Davies, R.E.S. (1984): *British Antarctic Survey Reports*, 87: 85pp.