

# Análisis de la deformación de los sistemas de venas y filones hidrotermales de la Península Hurd (Isla Livingston, Antártida Occidental)

*Strain analysis of hydrothermal veins on Hurd Peninsula (Livingston Island, Western Antarctica)*

C. García Cuevas y J.M. González-Casado

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

## ABSTRACT

*In Hurd Peninsula (Livingston Island, Western Antarctica) has been analysed the orientation of calcite c-axes and e-twin from the sparitic grains that filled the hydrothermal veins and lodes in this region. The c-axes orientations allow to establish that during the Upper-Cretaceous tectonic episode, when these veins were developed, took place an E-W extension, although other extension direction, e.g. NW-SE, also are active. The analysis of the calcite e-twins show the existence of compressional strain ellipsoids with two different orientations. A first group has an orientation that is compatible with a N-S compression direction, i.e. the same direction associated with the development of the veins. While the other is close to E-W and it is probably related with local tectonic structures. The presence of type I and II e-twins allow to deduce that the deformation temperature ranges between 150 to 300°C. Both, the strain intensity and the temperature increases towards the south part of Hurd Peninsula.*

**Key words:** calcite e-twin analysis, Livingston Island, Western Antarctica, hydrothermal veins, strain determinations.

*Geogaceta*, 28 (2000), 55-58  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El archipiélago de las Islas Shetland del Sur (Fig. 1A), entre las que se encuentra la Isla Livingston, es un arco magmático desarrollado fundamentalmente durante el mesozoico, entre los 130 y los 20 Ma (e.g. Willan y Kelley, 1999), como consecuencia de la convergencia entre las placas Antártica y Phoenix (Fig. 1B). El complejo magmático intruye en un basamento más antiguo, que aflora en muy pocos lugares del archipiélago. Entre éstos se encuentra la Península Hurd, donde el basamento está formado por una secuencia de rocas detríticas ligeramente metamorfizadas, la formación Miers Bluff, probablemente de edad triásica.

Una de las características de la Península Hurd (Fig. 1C), donde se realiza este trabajo, es la presencia de numerosos haces de diques que cortan las rocas del basamento. Los diques tienen diferentes litologías, pero se pueden agrupar en dos grandes categorías: diques máficos, y venas y filones rellenos de cuarzo. Estos diques registran de

manera muy detallada los diferentes episodios magmáticos que se suceden en la región a lo largo del periodo de actividad del arco magmático. Por otro lado, el análisis de sus orientaciones y estructuras permite realizar determinaciones de carácter tectónico, que se pueden situar temporalmente. En función de las relaciones de corte entre ellos, se puede establecer que las venas y filones hidrotermales de cuarzo son los más antiguos. El relleno más habitual de las venas está formado por grandes cristales idiomorfos de cuarzo, que crecen perpendicularmente a la pared del dique de forma sintaxial (Fig. 2). Además, en numerosas ocasiones en la parte central de los filones aparece un relleno de calcita esparítica. Esporádicamente se encuentran asociados a estos diques mineralizaciones de sulfuros metálicos y también es habitual la presencia de cantidades variables de clorita y calcedonia además de la calcita (Willan, 1994). Los análisis petrológicos indican que el proceso hidrotermal tuvo lugar a poca profundidad (Willan, 1994; Arström y Willan 1996).

Generalmente, las venas de cuarzo pueden alcanzar varios decímetros de anchura y varios metros de longitud. Tienen una orientación media NNE-SSO que es muy constante en toda la península y muestran siempre un buzamiento muy elevado (Santanach *et al.*, 1992; Pállas, 1996; Willan, 1994 y Gumiel *et al.*, 2000)(Fig. 3A). Estas venas se han relacionado con una etapa de fracturación NNE-SSO y se le ha asignado una posible edad Cretácico Superior (Willan, 1994).

En este trabajo se analizan las direcciones de crecimiento de los cristales de calcita del relleno de los diques, con objeto de precisar la dirección de extensión de las venas durante su última etapa de desarrollo, y las lamelas de macla que son muy habituales en los cristales de calcita, y que permiten establecer las características de la deformación sufrida por los diques con posterioridad a su formación.

## Método

En varios puntos repartidos a lo largo del perímetro de la Península Hurd, esco-

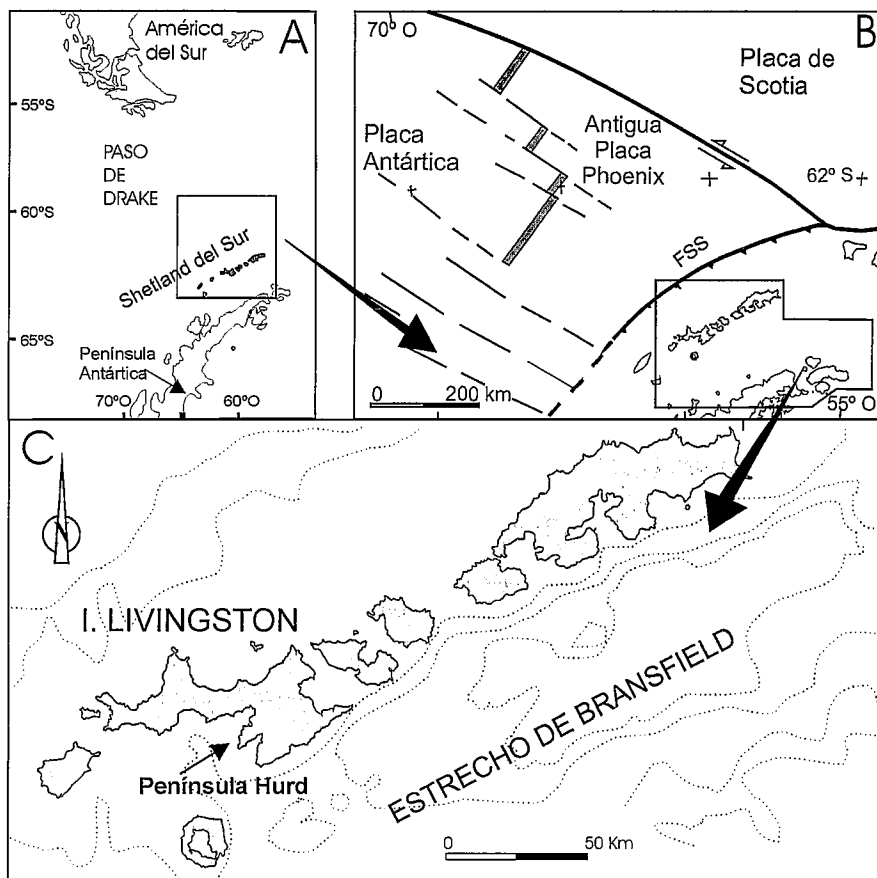


Fig. 1.- A y C. Situación geográfica del área de estudio. B. Esquema tectónico regional (F.S.S = Fosa de las Shetland del Sur).

Fig. 1.- A y C. Location map of the studied area. B: Regional tectonic framework (F.S.S = South Shetland Trench).

gidos a intervalos regulares para realizar un muestreo homogéneo dentro de lo que permiten las condiciones de los afloramientos antárticos (Fig. 3), se han muestreado las venas hidrotermales en nueve estaciones.

En todos los casos se tomaron muestras orientadas y en cada una de ellas se elaboraron dos láminas delgadas cortadas perpendicularmente entre sí. La medida de los ejes ópticos y de las orientaciones de los planos de maclas de los granos de calcita se realizó en un microscopio petrográfico dotado de una platina universal. Se midieron aproximadamente 40 granos por muestra debido al gran tamaño de éstos, lo que dificulta su medida.

Los datos de las fábricas de calcita se analizaron mediante el método de Groshong (Groshong, 1972), para establecer las condiciones del tensor de deformación (relación axial del elipsoide de deformación y orientación del mismo) responsable del maclado.

**Resultados**

*Orientaciones de los ejes ópticos*

En los trabajos anteriores sobre estas venas no se han medido las orientaciones de los cristales de cuarzo que rellenan las grietas, no obstante, dado su carácter normal a la superficie de las venas y la orientación de éstas, cabe deducir que tendrían una orientación próxima ESE-ONO. Las orientaciones de casi 400 ejes ópticos de calcita (Fig. 3B), número que consideramos estadísticamente representativo, permiten determinar la existencia de 4 direcciones de extensión. Las dos primeras, N80°E y N100°E, coincidirían con las supuestas orientaciones de los cristales de cuarzo. Los otros dos máximos (menos marcados, Fig. 3B) definen direcciones de extensión NE-SO y NO-SE, no citadas hasta el momento y que podrían relacionarse con variaciones locales en el campo de esfuerzos, asociados con estructuras tectónicas

menores. Estas orientaciones indicarían, aproximadamente, las orientaciones de  $\sigma_3$  durante la apertura de la vena.

*Maclado de la calcita (deformación)*

En casi todas las muestras estudiadas se observa un elevado número de granos maclados, habitualmente, más del 80% de los granos de cada lámina delgada. Además, en algunos casos las maclas comprenden más del 50% de la superficie del grano, lo que indica la alta intensidad alcanzada por el proceso de maclado.

Se observan maclas de tipo I (líneas rectas finas en las que no se puede identificar el material maclado con un microscopio) y II (se puede identificar el material maclado con un microscopio) (Buckhard, 1993) e incluso se han identificado algunas posibles maclas de tipo III (planos de macla curvados). Estas tipologías sugieren una temperatura de formación entre 150 y 300°C (Buckhard, 1993). Además, en los afloramientos más meridionales son más abundantes las maclas de tipo II y III, lo que indicaría que la temperatura durante la deformación aumenta hacia el lado sur de la Península Hurd, en los alrededores de Bahía Falsa.

Un gran porcentaje de los granos de calcita maclados que se han medido presentan un único sistema de maclas, pero entre un 20% y 35% de los cristales presentan dos sistemas de macla. En ninguna ocasión se han diferenciado



Fig. 2.- Fotografía de una vena subvertical de cuarzo en cuyo interior se observa el relleno de calcita.

Fig. 2.- Quartz vein photograph, note the calcite grains in the vein central part.

los tres sistemas de macla posibles en un grano de calcita.

Mediante la *Strain Gauge Technique* (Groshong, 1972) se han determinado las direcciones de elongación máxima, mínima e intermedia, así como su orientación (tensor de deformación) (Fig. 3c). En líneas generales se observa como la deformación (tanto los valores de elongación, como la segunda invariante del tensor de deformación,  $\sqrt{J_2}$ ) es mayor en las muestras procedentes de la mitad sur de la Península Hurd, aumentando considerablemente su valor en las muestras situadas cerca de la costa de Bahía Falsa (GRO-1 y PM-1, Fig. 3c). En la mayoría de las muestras (BA-1, SR-2, SR-3, PM-1 y GRO-1) el eje de elongación máxima ( $e_1$ ) se encuentra vertical, el intermedio ( $e_2$ ) está horizontal y alrededor del eje E-O y, por último, el eje de elongación mínima ( $e_3$ ) está también horizontal, pero en este caso alrededor del eje N-S. La dirección de mínima elongación ( $e_3$ , equivalente a  $\sigma_1$ ) es acorde con la deducida para la formación de los diques (Gumiel *et al.*, 2000), sin embargo, las otras dos direcciones están permutadas, es decir, que aunque se mantiene la misma orientación de  $\sigma_1$  existente durante la etapa de apertura y formación de los diques, las maclas de calcita indicarían un régimen de tipo convergente. Por otro lado, las muestras próximas a la costa de la Bahía Sur (Fig. 3) muestran el mismo tipo de régimen tectónico, pero en este caso la dirección de mínima elongación ( $e_3 \Leftrightarrow \sigma_1$ ) pasa a localizarse alrededor del eje E-O, además, debido a la inclinación que muestran los ejes en algunos casos (p.ej., muestra CA-1) puede deducirse la existencia de deformaciones posteriores al maclado (p. ej., basculamiento de las capas, etc.), lo que coincide con la existencia en esta zona de una posible estructura mayor (Pallàs *et al.*, 1995; González-Casado *et al.*, 1999).

## Discusión y conclusiones

El análisis de la orientación de ejes ópticos de calcita del relleno final de los diques y filones de cuarzo muestra que se mantienen las direcciones de extensión existentes durante las etapas iniciales de formación de los filones (N80°E y N100°E). Además existen otros dos máximos, orientados NE-SO y NO-SE, que podrían indicar nuevas direcciones de extensión.

El tipo de maclas encontrado indica unas temperaturas de deformación entre 150° y 300°C. Tanto la temperatura como la deformación aumentan hacia el sur de

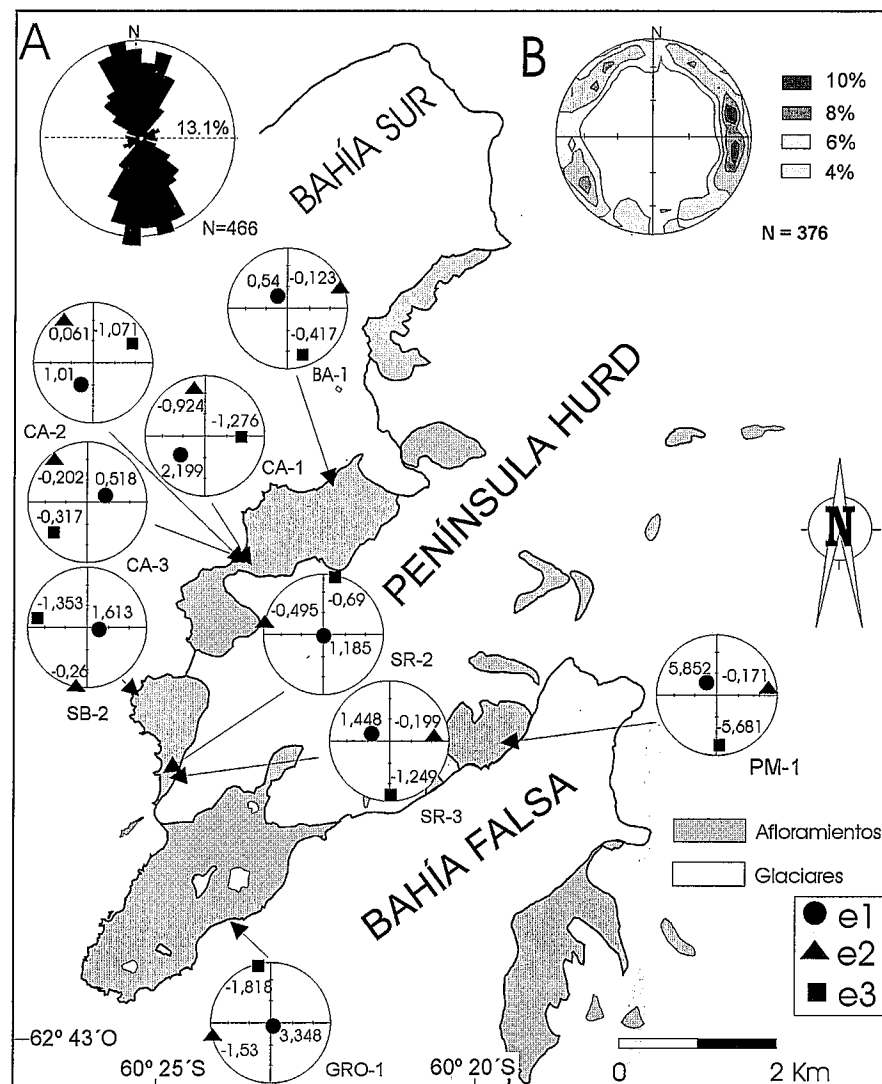


Fig. 3.- A. Rosa de direcciones de los diques medidos (N= número de diques medidos). B. Diagrama de densidades de los ejes ópticos de los cristales de calcita (Proyección de Schmidt, hemisferio inferior). C. Localización de los puntos de medida en la Península Hurd. En cada punto se muestran las direcciones de elongación máxima ( $e_1$ ), intermedia ( $e_2$ ) y mínima ( $e_3$ ) obtenidas a partir del análisis de maclas de calcita (método de Groshong).

Fig. 3.- A. Rose diagram with all the measured veins and lodes. B. Density diagram of calcite c-axes orientation (Schmidt projection, lower hemisphere). C. Map of the studied area showing the elongation maximum ( $e_1$ ), minimum ( $e_3$ ) and intermediate ( $e_2$ ) axis, obtained from Groshong's technique.

la Península Hurd, alcanzando sus valores máximos en la costa de Bahía Falsa.

Existen dos orientaciones distintas para los elipsoides de deformación. Un primer grupo tiene orientaciones que indican dirección de máximo acortamiento subhorizontal y orientada NNO-SSE que sería compatible con los esfuerzos transmitidos desde el margen activo durante el Cretácico Superior (zona de trinchera de las Shetland del Sur, Fig. 1B). La otra orientación establecida se localiza sólo a lo largo de la costa de Bahía Sur y podría representar deformaciones de carácter más local asociadas con alguna estructura tectónica menor.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto ANT98-0225 de la CICYT. Los autores agradecen a J.L. Giner-Robles, P. Gumiel y E. Serrano la realización del muestreo y sus comentarios que han contribuido a mejorar este trabajo.

## Referencias

- Armstrong D.C. y Willan, R.C.R. (1996): *Mineral Deposita*, 31, 209-306  
 Burkhard, M. (1993): *Jour. Struct. Geol.* 15, 351-368.

- González-Casado, J.M., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (1999): *Antarctic Science*, 11(3), 323-331.
- Groshong, R.H., Jr. (1972): *Geol. Soc. Amer. Bull.* 83: 2025-2048.
- Gumiel, P., González-Casado, J.M., Giner, J., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2000): *Geogaceta*, 27, 75-78.
- Pallàs, R., Vilaplana, J. M. and Sàbat, F. (1995): *Antarctic Science*, 7, 395-406.
- Pallàs, R. (1996). *Geologia de l'Illa de Livingston (Shetland del Sud, Antàrtida). Del Mesozoic al Present*. Tesis. Universitat de Barcelona. 265 pp.
- Santanach, P., Pallàs, R., Sàbat, F. y Muñoz, J.A.. (1992): En: *III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología: T-III*, 141-151.
- Willan, R.C.R. (1994): *Geological Magazine*, 131: 465-483.
- Willan, R.C.R y Kelley, P. (1999): *Journal of Geophysical Research*, 104-B10, 23051-23068.