

Orientaciones de esfuerzos en la corteza superior: determinación a partir de sondeos de exploración de hidrocarburos en la Península Ibérica y en cuencas adyacentes

Stress orientations in the upper crust: determination in hydrocarbon exploration wells in Iberia and neighbouring basins

M.J. Jurado

Geophysikalisches Institut, Universität Fridericiana Karlsruhe, Hertzstrasse 16, 76187. Karlsruhe, Germany; mjjurado@gpiwap4.physik.uni-karlsruhe.de, mjjurado@ija.csic.es

ABSTRACT

Hydrocarbon exploration activity by oil companies in Spain has resulted in the acquisition of valuable data to analyze the stress orientation in the first 5 to 6 km of the Earth's upper crust. Borehole breakout analysis performed on borehole geometry logs give an indication on the orientation of the maximum horizontal compressive stress. 50 of the available exploration wells were selected to perform the stress analysis that should provide with new present-day stress indicators in different domains of onshore and offshore areas in the Iberian region. The first results have been obtained for NE Iberia and neighboring offshore Mediterranean. Research in progress will provide with new stress indicators among others for southern Iberia (Guadalquivi basin, Alboran basin, Betics and intrachain basins) and northern Iberia (Bay of Biscay-Cantabrian offshore).

Key words: stress, borehole breakout, hydrocarbon exploration

Geogaceta, 20 (1) (1996), 150-152
ISSN: 0213683X

Introducción

El análisis de ovalizaciones en sondeos («borehole breakouts»), junto con la solución de planos de falla de mecanismos focales de terremotos, indicadores cinemáticos de planos de falla y medidas de esfuerzos «in situ» por fracturación hidráulica y sobresondeo («overcoring»), constituyen los métodos que proporcionan indicadores sobre la orientación de esfuerzos actuales en la litosfera (Zoback, 1992).

La metodología del análisis de la orientación de esfuerzos a partir de la deformación en la sección de los sondeos (ovalizaciones, «borehole breakouts») fue introducida y perfeccionada a finales de los años 70 y principios de los años 80 (Bell y Gough, 1979, 1983; Gough y Bell, 1982; Plumb y Hickman, 1985). Desde entonces se ha convertido en uno de los métodos más interesantes para la determinación de la orientación de esfuerzos actuales en los primeros kilómetros de la corteza terrestre, y está considerado como un método fiable para inferir la orientación del esfuerzo máximo hori-

zontal (Zoback *et al.*, 1985).

Este análisis consiste en determinar la orientación preferente según la cual tiene lugar la rotura por cizalla en las paredes del sondeo, debido a la concentración de esfuerzos, cuando éstos superan el valor de la resistencia a la rotura en compresión de la roca. Se asume que el sondeo se perfora en una roca sometida a anisotropía de esfuerzos, que uno de los esfuerzos principales es vertical y que la concentración de esfuerzos tangenciales y rotura tiene lugar a 90° del esfuerzo máximo horizontal, *Shmax*, a ambos lados diametralmente opuestos de la pared del sondeo y, paralelamente al esfuerzo mínimo horizontal (Bell y Gough, 1979, 1983; Gough y Bell, 1982; Plumb y Hickman, 1985). En las zonas en las que se da la rotura, la sección del sondeo aparece ovalizada y el término inglés «borehole breakout» que las designa, puede definirse como una ovalización de la forma del sondeo, inicialmente cilíndrica. Esta deformación se produce al cabo de un cierto tiempo de la perforación del sondeo y, por lo tanto responde a los esfuerzos

actuales. Conocida la orientación de las zonas ovalizadas, que coincide con la del esfuerzo mínimo horizontal, es posible determinar la orientación del esfuerzo máximo horizontal, que estaría a 90° de las anteriores. Para realizar este tipo de análisis es preciso disponer de diagráffas de los sondeos que permitan un reconocimiento de la geometría del mismo y la determinación de la orientación de las ovalizaciones en cuestión (Fig. 1). En el marco de este estudio se han utilizado registros de diámetro de pozo (caliper) con herramientas de 4 brazos y los correspondientes registros de orientación de la herramienta y del sondeo.

Dado que otros factores distintos del que interesa analizar pueden dar lugar a colapso y deformación en las paredes del sondeo, para la identificación de ovalizaciones, se aplican unos criterios restrictivos estándar (Plumb y Hickman; 1985). Para obtener la orientación media sobre el intervalo de profundidad considerado, se aplica estádística circular (Mardia, 1972). Los trabajos de Bell y Gough (1979, 1983); Gough y Bell (1982); Plum y Hickman

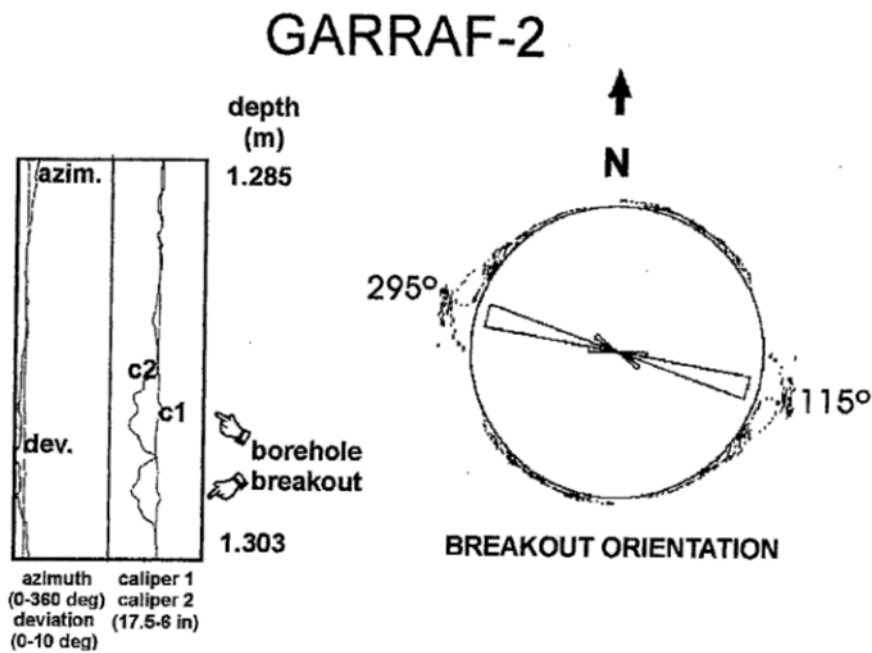


Fig. 1.-: Borehole breakout example from the Garraf-2 well (Mediterranean offshore, NW Valencia Trough). On the left, the caliper and the orientation logs (azimuth and deviation) for the depth interval 1285-1303 m. Two aligned breakouts show up in the caliper logs. A maximum caliper difference of about 3 inches (7.32 cm) and over a depth interval length of about 7 m. The smoothly varying deviation curve shows the deviation of the well from the vertical. The azimuth curve shows the orientation of the tool reference pad in the well. The tool rotates as long as both caliper diameters do not differ significantly. The contour-plot on the right is the projection of the caliper and represents the stack of the caliper data for the depth interval 1285-1303 m. The breakouts are observed to occur in this case at azimuths of 115° and 295° with respect to magnetic North indicating an orientation of $S_H = N 25^\circ E$.

Fig. 1.- Ejemplo de zona de ovalización en el sondeo Garraf-2 (Mediterráneo, Surco de Valencia). A la izquierda aparecen representados para el intervalo de profundidad 1285-1303 m: el diámetro del pozo según registro continuo de «caliper 1» y «caliper 2» (que miden 2 secciones perpendiculares) y los datos relativos a orientación. En las secciones del diámetro del pozo (caliper 1, caliper 2) se distinguen 2 zonas de ovalización alineadas, con una diferencia máxima entre caliper 1 y 2 de 7.32 cm, sobre un intervalo de profundidad de 7 metros. La curva de desviación («deviation») representa la desviación del sondeo respecto a la vertical; «azimuth» representa la orientación del patín de referencia de la herramienta en el sondeo. La herramienta gira en el interior del sondeo mientras caliper 1 y caliper 2 no difieren de forma significativa. A la derecha de la figura una proyección de las medidas de la sección del sondeo para el intervalo 1285-1303 m. Las zonas de ovalización tienen una orientación 115° y 295°, que indicarían una orientación del esfuerzo máximo horizontal $N25^\circ E$.

(1985), Zoback *et al.* (1985) incluyen una descripción más detallada de este método de análisis y de su aplicación.

La obtención de indicadores en los sondeos tiene gran interés ya que, por una parte, pueden obtenerse datos de la situación de esfuerzos en zonas asísmica o que no han registrado una actividad tectónica reciente y también permiten analizar la orientación de los esfuerzos en profundidad, sobre intervalos que cubren los primeros miles de metros de la corteza terrestre. En zonas marítimas, estos indicadores son especialmente valiosos dada la imposibilidad o dificultad para obtener indicadores de esfuerzos partir de otros mé-

todos, como por ejemplo, indicadores geológicos o medidas «in situ».

Primeros resultados

Dados, la escasez de indicadores de esfuerzos en Iberia (Zoback, 1992), el potencial de esta metodología y la disponibilidad de los datos necesarios, obtenidos durante la exploración de hidrocarburos en España, se planteó el análisis sistemático de los 50 sondeos que se incluye en la figura 2. Los datos necesarios fueron facilitados por Repsol Exploración o bien se obtuvieron a través del Servicio de Hidrocarburos del Ministerio de Industria (Madrid).

Los datos ya procesados o que son objeto de análisis en la actualidad corresponden a las siguientes zonas de la Península Ibérica y mares adyacentes: Pirineos y Cuenca del Ebro, zona Cantábrica, Cuenca del Tajo, Cuenca del Guadalquivir, Béticas, Mar de Alborán y Mediterráneo Oriental.

El análisis sistemático de los datos de estos sondeos de exploración de hidrocarburos ubicados en diferentes áreas de la Península Ibérica completará notablemente el conocimiento de la situación de esfuerzos en la región dado que se obtendrán nuevos indicadores para zonas en las que no se disponía de información relativa a la orientación de esfuerzos (Fig 2) anteriormente (Zoback, 1992).

Los primeros resultados disponibles corresponden al NE de la Península Ibérica (Pirineos y Cuenca del Ebro) y NW del Surco de Valencia (Jurado y Müller 1995), Fig. 3. Estos resultados, obtenidos a partir de los datos demuestran una orientación preferente del esfuerzo máximo horizontal NE-SW a NNE-SSW. Esta orientación predomina tanto en los sondeos situados en el propio NE peninsular como en los situados en el subsuelo de la zona marítima adyacente. La orientación de esfuerzos es consistente en profundidad, tanto en el relleno sedimentario de las cuencas como en el substrato, y también en las unidades alóctonas de los Pirineos meridionales y en los sedimentos autóctonos y paraautoctonos de la cuenca de antepaís.

Una circunstancia destacable en relación con estos primeros resultados es que, dicha orientación difiere de la orientación media de los esfuerzos en Europa Occidental (NW-SE) (Müller *et al.*, 1992) y deja planteada la cuestión de si la consistente orientación que se ha identificado en el NE de Iberia refleja un cambio en la orientación de esfuerzos a escala regional o bien si se trata de una variación localizada. Los datos que aportará el análisis del resto de los sondeos en fase de estudio y la integración con otros indicadores de esfuerzos permitira perfilar estos aspectos en un futuro próximo.

Agradecimientos

A Repsol Exploración por haber facilitado la obtención de parte de la información de sondeos. Este estudio ha sido parcialmente financiado por los siguientes proyectos: «Integrated Basin Studies project contract JOU-2.-CT 92-0110, y

ERB4001GT933623 de la Unión Europea, SFB-Studies project contract JOU-2.-CT 92-0110, y ERB4001GT933623 de la Unión Europea, SFB-108 de la «Deutsche Forschungsgemeinschaft», y la Acción Integrada Hispano-Alemana HA-34-112-91 de la DGICYT.

Referencias

Bell, J.S.; Gough D.I., *Earth Plan. Sci. Lett.*, 45, 475-482, 1979.
 Bell, J.S.; Gough D.In: «Hydraulic Fracturing Stress Measurements» (Ed Zoback, M.D. and Haimson, B.C.), National Academy Press, Washington, 201-209, 1983.
 Gough, D.J.; Bell, J.S., *Can. J. Earth Sci.*, 18, 1358-1370, 1982.
 Jurado, M.J.; Müller, B., (1995), *Geogaceta*, 19, 27-30, 1995.
 Mardia, K.V, Academic Press, London, 357 pp, 1972.
 Müller, B.; Zoback, M.L.; Fuchs, K.; Mastin, L.; Gregersen, S.; Pavoni, N.; Stephansson O., Ljunggren, C., *J. Geophys. Res.*, 97, 11783-11803, 1992.
 Plum, R.A.; Hickman, S.H., *J. Geophys. Res.*, 90, 5513-5521, 1985.
 Zoback, M.D.; Moos D.; Mastin, L. and Anderson R.N, *J. Geophys. Res.*, 90, 5523-5530, 1985.
 Zoback, M.L, *J. Geophys. Res.*, 97, 11703-11728, 1992.

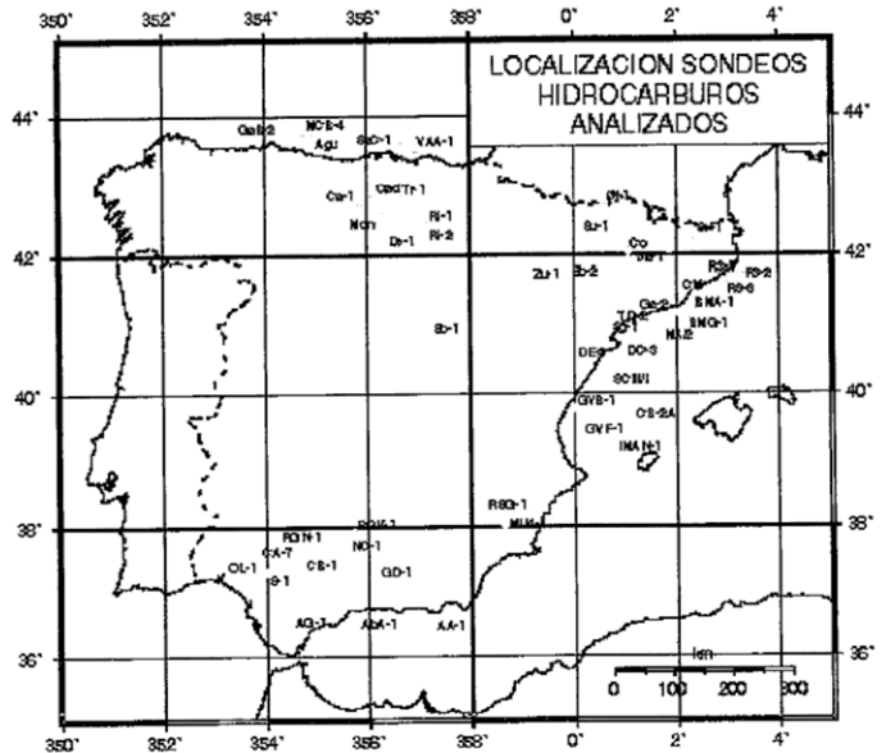


Fig. 2.- Location map showing the hydrocarbon exploration wells that are being analyzed for borehole breakout occurrence. Oriented 4-arm caliper logs from these wells are being analyzed to identify breakout occurrence and to obtain stress indicators.

Fig. 2.- Mapa de localización de los sondeos de hidrocarburos que están siendo analizados. El análisis se realiza sobre diagramas de caliper de 4 brazos orientados, que permiten la identificación de ovalizaciones y la obtención de indicadores de esfuerzos.

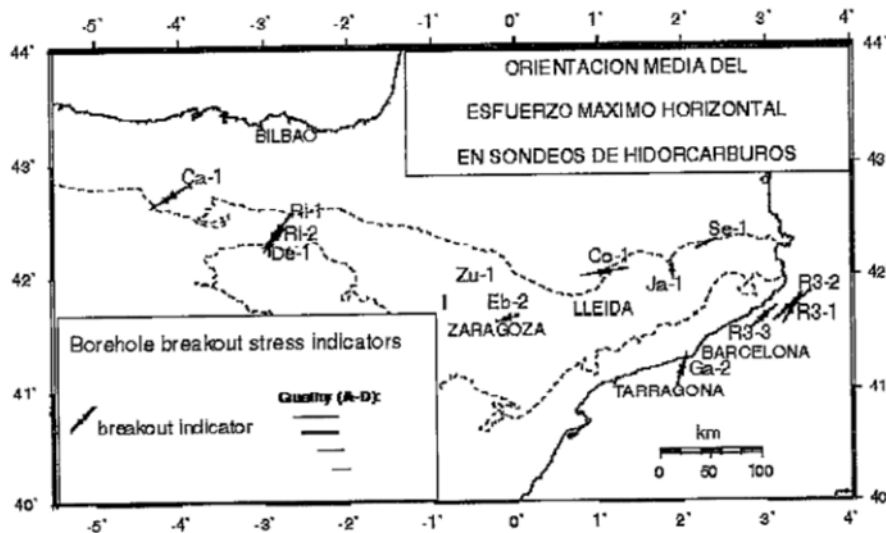


Fig. 3.- First results on stress orientation from borehole breakout analysis for NE Iberia (modified from Jurado and Müller, 1995). The dotted contour outlines the sedimentary Ebro-Duero basins. The abbreviations correspond to the following exploration wells: Ca-1 (Cantonegro-1), Ri-1 (Rioja-1), Ri-2 (Rioja-2), De-1 (Demanda-1), Zu-1 (Zuera-1), Eb-2 (Ebro-2), Co-1 (Comiols-1), Ja-1 (Jabalí-1), Se-1 (Serrat-1), Ga-2 (Garraf-2), R 3-3 (Rosas 3-3), R 3-1 (Rosas 3-1), R 3-2 (Rosas 3-2). No stress indicators were found in the data analyzed from the Zuera-1 well. The length of the indicator is in relationship with the quality ranking assigned according to standard criteria (Zoback, 1992).

Fig. 3.- Primeros resultados sobre orientación de esfuerzos en el NE de Iberia obtenidos a partir del análisis de ovalizaciones en sondeos (modificado de Jurado y Müller, 1995). La línea de trazos esboza el contorno de las cuencas del Ebro y del Duero.- Las siglas corresponden a los siguientes sondeos de exploración: Ca-1 (Cantonegro-1), Ri-1 (Rioja-1), Ri-2 (Rioja-2), De-1 (Demanda-1), Zu-1 (Zuera-1), Eb-2 (Ebro-2), Co-1 (Comiols-1), Ja-1 (Jabalí-1), Se-1 (Serrat-1), Ga-2 (Garraf-2), R 3-3 (Rosas 3-3), R 3-1 (Rosas 3-1), R 3-2 (Rosas 3-2). No se obtuvieron indicadores para el sondeo Zuera-1. La longitud del indicador esta en relación con la calidad de los mismos, establecida en cada caso según los criterios estandar Zoback (1992).