

Determinación de la Orientación de Esfuerzos Actuales a partir de Deformaciones Tectónicas ("Breakouts") en algunos Pozos Petroleros de los Llanos Orientales y del Valle Medio del Magdalena, Colombia

JORGE ENRIQUE CASTILLO

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá. Actualmente en el Instituto de Geofísica y Geodesia, Universidad Técnica de Viena, Austria.

JAIRO MOJICA

Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 74-95, Bogotá.

CASTILLO, J.E. & MOJICA, J. (1990): Determinación de la Orientación de Esfuerzos Actuales a partir de Deformaciones Tectónicas ("Breakouts") en algunos Pozos Petroleros de los Llanos Orientales y del Valle Medio del Magdalena, Colombia.- Geol. Colombiana 17, pp.123-132, 5 figs., 1 Tabla, Bogotá.

RESUMEN

Se midió la deformación tectónica ("breakouts") en tres pozos petroleros de los Llanos Orientales de Colombia (Llanos-1, Guayuriba-2, Entrerríos-1) y en dos del Valle Medio del Magdalena (Bellavista-1 y Montoyas-1). En los pozos de los Llanos Orientales se dedujo una dirección de máxima compresión horizontal de 138° (azimuth Norte) y de 112° en los del Valle Medio del Magdalena. Las elongaciones fueron determinadas a partir de los registros "caliper" del "dipmeter" de cuatro brazos.

ABSTRACT

Borehole-breakouts have been investigated in five oil wells from Colombia; three of them (Llanos-1, Guayuriba-2, Entrerríos-1) are located in the Eastern Llanos Basin, two (Bellavista-1 y Montoyas-1) in the Middle Magdalena Valley.

The identified breakouts - which are supposed to be parallel to the smaller horizontal stress - indicate a larger horizontal principal stress of 138° (expressed in azimuth N-E) for the Eastern Llanos wells and of 112° for those in the Middle Magdalena Valley.

The analyses were carried out using oriented four-arm caliper data provided by ECOPETROL (Empresa Colombiana de Petróleos) as well as software and computers from the Geophysical Institute of the Karlsruhe University (FRG).

1. INTRODUCCION

En el marco del Programa Internacional de la Litósfera y del Mapa de Esfuerzos del Mundo, y con base en los registros suministrados por la Empresa Colombiana de Petróleos -ECOPETROL-, se adelantó un estudio para determinar la presencia de posibles deformaciones de origen tectónico (o "breakouts") en cinco pozos petroleros de Colombia, localizados tres de ellos en la Cuenca de los Llanos Orientales y dos en el Valle Medio del Río Magdalena, como se muestra en la Fig. 1. Para ello se usaron los equipos de cómputo y los programas del Instituto de Geofísica de la Universidad de Karlsruhe (RFA), donde el primero de los autores tuvo un entrenamiento de dos meses, en estrecha colaboración con el Prof. Dr. Karl Fuchs y los colegas Birgitt Clauss y Andreas Weller, a quienes expresamos nuestros sinceros agradecimientos, al igual que a la Corporación Aracuara que costeó los pasajes aéreos entre Bogotá-Karlsruhe-Bogotá.

2. GENERALIDADES Y MARCO CONCEPTUAL

Luego de la perforación de pozos profundos (en general aquellos para la prospección y extracción de petróleo o para investigación "pura") y mediante el análisis de los registros de la herramienta calibradora de cuatro brazos (= "Four-Arm Caliper") es posible detectar en la perforación, intervalos en los cuales ocurren cambios notables de la geometría circular producida por la broca (v. Fig. 2). Dicha herramienta se desarrolló en principio como una sonda de 3 brazos para medir el diámetro de los pozos, con el objeto de poder estimar la cantidad de cemento a utilizar luego de su blindaje, o recubrimiento con tubería. Empero, con la adición de sensores eléctricos en los patines que hacen contacto con las

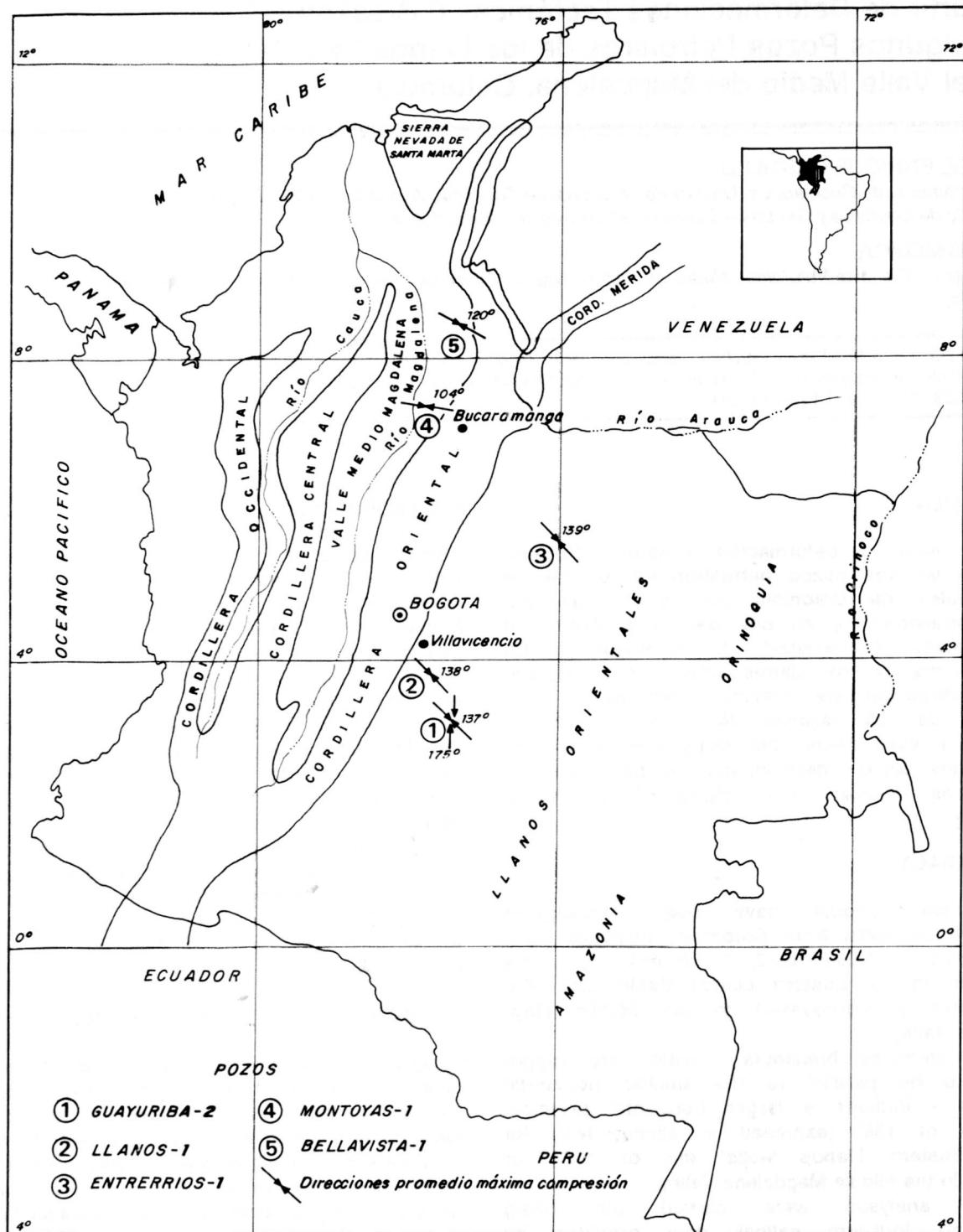


Fig. 1. Mapa de localización general de los pozos petroleros estudiados. Las flechas indican las direcciones de máxima compresión horizontal (SH máx.) derivadas del análisis de los intervalos con elongaciones tectónicas.

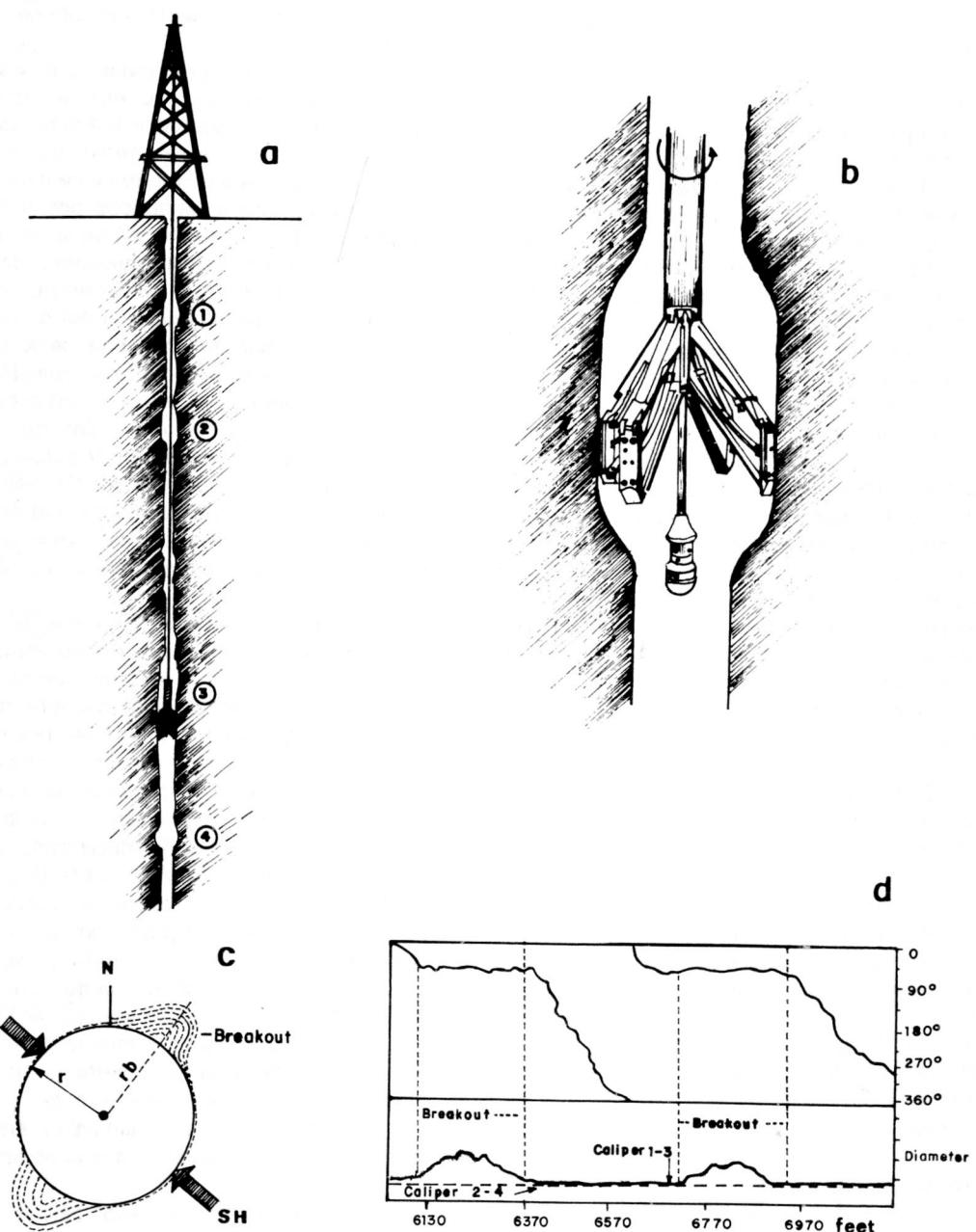


Fig. 2. Ilustración de los principios para la identificación y medición de las elongaciones tectónicas en pozos profundos. a: corte de un pozo, con indicación de 4 zonas elongadas (1, 2, 3, 4); b: zona ensanchada y detalle de la herramienta medida (caliper de 4 brazos); c: diagrama de superposición de contornos en un intervalo con elongación tectónica, donde r = radio de la broca, r_b = radio de la zona de elongación, SH máx. = dirección de máximo esfuerzo horizontal, N = norte; d: registro eléctrico en la zona deformada.

paredes del pozo y en virtud de la diferencia de resistividad de cada una de las capas atravesadas, se hizo posible utilizar la sonda como herramienta para medir buzamientos de estratos, de planos de falla, de fracturas naturales o inducidas artificialmente ("hydraulic fracturing"), o, indirectamente, para reconocer discordancias.

Para realizar el registro, la sonda es llevada por gravedad hasta el fondo del pozo, por medio de un cable que incluye los conductores eléctricos que la conectan con la estación de registro. La toma de datos se efectúa sólo durante el ascenso, a velocidad "constante" y con un movimiento rotatorio casi permanente de la sonda; se obtiene así un registro ininterrumpido de los valores de azimut relativos a uno de los patines y definidos a partir de un sistema de un acelerómetro triaxial y tres magnetómetros. Que el registro se haga únicamente durante la extracción de la herramienta, se debe a que así se garantiza la continuidad del movimiento, pues en el descenso hay más probabilidad de atasamientos.

Los cuatro brazos de la sonda son escualizables hidráulicamente y están arreglados en dos pares perpendiculares entre sí; el diámetro de apertura mínima es de 4 pulgadas (10.2 cm) y la máxima de 21 pulgadas (53.4 cm). Sin embargo, la resolución en cuanto a las variaciones de la geometría del pozo depende del tamaño de los patines (generalmente 30 cm de largo y 6 cm de ancho); la resolución de las variaciones de buzamiento es función del número de sensores y la distancia entre ellos, por lo común dos o tres en cada patín. Así, por ejemplo, con la herramienta SHDT ("Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool"), que tiene electrodos con separación de 3 cm, se logra una resolución vertical de 1 cm (v. Schlumberger, 1983).

Volviendo al tema de los cambios en la geometría de los pozos luego de la perforación es preciso aclarar que las modificaciones pueden ser producto de diversos procesos, entre los que se encuentran:

- Excavaciones por lavado en las paredes del pozo (o "washouts");
- Desprendimientos en zonas de microfracturación;
- Carga desigual de la broca cuando el pozo se desvíe de la vertical (más allá de 1°);
- Elongación por efectos de esfuerzos anisotrópicos (o "breakouts").

De acuerdo con las interpretaciones de Cox (1970), Babcock (1978) y Bell & Gough (1983), las excavaciones por lavado consisten en ensanchamientos, en forma de trompo o de huso, que incrementan el diámetro del pozo, pero que no causan interrupción en el proceso normal de giro de la herramienta durante la extracción de la misma, para la toma del registro.

Los desprendimientos en zonas de microfracturación pueden ocurrir en diversos intervalos de la perforación y se reconocen mediante el análisis de los registros SHDT "Laterolog", ya que las fracturas provocan una notable disminución direccional de la resistividad eléctrica.

Las deformaciones causadas por la carga desigual de la broca en pozos desviados de la vertical se manifiestan como continuos y persistentes ensanchamientos semilunares en el costado inferior al eje de la herramienta; su reconocimiento, no ofrece, por lo tanto, mayor dificultad.

Las elongaciones producidas por esfuerzos tectónicos se manifiestan como ensanchamientos en dos franjas simétricas (vale decir enfrentadas) de las paredes del pozo, que se mantienen como ranuras rectilíneas, por intervalos de metros a centenares de metros, en las que al quedar atrapados uno o dos brazos del "dipmeter", se frena la rotación de la sonda. La interpretación de que dichas deformaciones son de carácter tectónico se basa en la experiencia, múltiples veces confirmada en diversos lugares del mundo, de que los ejes de las franjas de ensanchamiento (o "breakouts") presentan arreglos sistemáticos, coincidentes con los de las direcciones de mínima compresión horizontal derivadas de otros métodos tales como: análisis de mecanismos focales, medición de esfuerzos "in situ" por sobrecorazonamiento ("overcoring"), deformaciones de redes geodésicas, fracturamiento hidráulico, inversión de planos de falla y estudios de la orientación de alineamientos volcánicos, orientación de diaclasas recientes y de redes fluviales.

Como regla general se tiene que las elongaciones tectónicas se expresan bien en las zonas más profundas de las perforaciones, en tanto que cerca de la superficie su identificación se torna insegura, debido a que la velocidad de giro del "dipmeter" decrece notablemente y es difícil reconocer los tramos en los cuales cesa la rotación; de otro lado la experiencia demuestra que también pueden ocurrir ciertos cambios de la orientación de los esfuerzos al pasar discordancias importantes. Se trata de una observación que para la cual, por el momento no se tiene una explicación satisfactoria. Sin embargo, es claro que, en promedio, la orientación de las deformaciones se sostiene alrededor de valores relativamente restringidos, como puede apreciarse, a modo de ejemplo, en el caso que nos ocupa, en la Tabla 1.

En la práctica, el reconocimiento de los tramos elongados tectónicamente, y a partir de los registros del calibrador, se puede efectuar mediante:

- el estudio visual y el tratamiento manual de los valores obtenidos de las curvas, lo cual es un procedimiento lento y dispendioso;
- la digitalización y posterior cálculo computarizado de los datos tomados de las curvas;
- el procesamiento de la información contenida en cintas magnéticas, grabadas directamente en el pozo.

La reproducción gráfica más efectiva de los resultados se obtiene mediante la superposición de los contornos del pozo a diferentes profundidades en cada uno de los intervalos con "breakouts", y en especial cuando dichos contornos se derivan de la diferencia de las aperturas de los pares 1-3 y 2-4 de la herramienta ("calipers" 1 y 2), caso en el cual se habla de "gráficas de diferencia de contornos" (v. Blümling *et al.*, 1983; Blümling,

Nombre del pozo	Prof. 2	Prof. 1	Smax.N/E
Guayuriba 2	8900	8600	123
	8050	7750	100
(Meta)	7750	7600	140
Colombia	7600	7300	105
	7300	7000	118
	6301	6101	123
	6100	5800	95
	5300	5000	186
	5000	4750	175
	4331	4030	176
	3800	3500	166
		Suma	1507
		Promedio	137
		Desv.Estan.	31.803373
		Varianza	1011.4545

Nombre del pozo	Prof.2	Prof.1	Smax.N/E
Llanos 1	2000	1700	125
	3300	3000	127
(Meta)	3600	3300	148
Colombia	5400	5100	131
	6000	5700	128
	6700	6300	138
	7600	7300	132
	7900	7600	142
	8500	8200	151
	9000	8700	160
		Suma	1382
		Promedio	138.2
		Des. Estan.	11.15168
		Varianza	124.36

Nombre del pozo	Prof. 2	Prof. 1	Smax. N/E
Montoyas 1	6700	6400	120
	6400	6050	105
(Santander)	6000	5700	98
Colombia	7062	6705	102
	2085	1566	95
		Suma	520
		Promedio	104
		Desv.Estan.	18.6948260
		Varianza	75.6

Nombre del pozo	Prof. 2	Prof. 1	Smax. N/E
Entrerrios 1	6805	6310	140
	6500	6310	135
(Casanare)	6310	6000	139
Colombia	6000	5700	141
	5710	5400	140
		Suma	695
		Promedio	139
		Desv.Estan.	2.097617
		Varianza	4.4

Nombre del pozo	Prof. 2	Prof. 1	Smax. N/E
Bellavista 1	10785	10466	125
	19465	10146	127
(Santander)	10145	9826	110
Colombia	9505	9186	123
	9185	8866	120
	8865	8546	111
	8225	7983	125
	8218	7973	122
		Suma	963
		Promedio	120.375
		Desv.Estan.	16.0402297
		Varianza	36.484375

1986; Fuchs & Clauß, 1987), y que pueden ser elaborados directamente por medio del computador, como en los casos mostrados en la Fig. 3.

Los detalles con respecto a los procedimientos antedichos se encuentran en los trabajos de Cox (1970), Babcock (1978), Blümling *et al.* (1983), Plumb & Hickman (1985), Podrouzek (1985), Fuchs & Clauß

TABLA 1 Direcciones de máxima compresión horizontal (SHmáx.) obtenidas del análisis de las orientaciones preferenciales de las elongaciones tectónicas ("Borehole Breakouts") en diversos intervalos de los 5 pozos estudiados.

(1987), Blümling (1986).

Así mismo, la geometría de los pozos y sus deformaciones puede ser determinada también con ayuda del "televídeo", una herramienta nueva, hasta ahora usada sólo en pozos de investigación, y en muy pocos pozos petroleros. En verdad no se trata, como podría pensarse, de imágenes televisadas, sino de registros obte-

nidos por una sonda sismo-acústica, con un emisor piezo-eléctrico que envía señales de alta frecuencia (1.2 MHz) que se reflejan luego en las paredes del pozo; el aparato mide el tiempo de retorno de dichas ondas, entre 200 y 600 veces (pulsos) por cada giro del emisor-receptor, lo cual garantiza un cubrimiento denso de la superficie estudiada y permite así el reconocimiento de rugosidades, grietas, oquedades, desprendimientos y deformaciones elípticas, según lo describen Bell & Gough (1983), Hickman *et al.* (1985), Zoback *et al.* (1985), Plumb & Hickman (1985) y Blümling (1986); de todos modos el método aún no ha sido empleado en Colombia.

Por último para identificar las deformaciones de las paredes de las perforaciones se puede recurrir a cámaras con lente de ojo de pescado, pero su uso, además de ser muy costoso sólo es viable en pozos "muy limpios".

El estudio de las elongaciones tectónicas en los pozos hidrocarburíferos, además de ser considerado bien confiable (Zoback *et al.* 1989), tiene las ventajas de que:

a) se puede emplear en áreas normalmente no accesibles por otros métodos, como lo son los sectores muy planos, cenagosos o selváticos (e.g. Llanos Orientales, Amazonia, zonas deltaicas y en áreas de costa afuera, independientemente de la profundidad del fondo marino).

b) Llena al vacío de información entre los 3 y 7 km, un intervalo no cubierto por las mediciones directas o indirectas en la superficie terrestre y en las minas más profundas, ni por los análisis de mecanismos focales de sismos someros, que por lo común ocurren a más de 8 km de la misma.

c) Permite la mejor planificación del desarrollo de los campos petroleros, en especial de la fase de recuperación secundaria y terciaria, ya que los fluidos inyectados para tal fin, penetran con mayor facilidad en dirección paralela al máximo esfuerzo horizontal y a las grietas producidas por fracturación hidráulica (Gough & Bell, 1981, 1982).

Para calificar la confiabilidad de los resultados de los distintos indicadores de las direcciones de esfuerzos actuales (e.g. mecanismos focales, "breakouts", fracturación hidráulica, mediciones "in situ" por sobrecorazónamiento, orientación de planos de falla y de estrías, alineación de volcanes), el comité del Proyecto del Mapa de Esfuerzos del Mundo (v. International Lithosphere Programm, 1989) ha propuesto una tabla relativa de calidades, denominadas en orden decreciente "A, B, C, D". En el caso de las deformaciones tectónicas de los pozos petroleros, dicha tabla tiene en cuenta básicamente el número y longitud total de los intervalos elongados continuos y la desviación estándar obtenida de las diferentes orientaciones de la máxima compresión horizontal, así:

Calidad A: 10 o más zonas elongadas en un pozo, con longitud total superior a 300 m y desviación estándar $\leq 12^\circ$, o

- Promedio de SH máx. deducida de "breakouts" en dos o más pozos vecinos, con longitud total combinada \geq

300 m y desviación estándar de $\leq 12^\circ$.

Calidad B: Al menos 6 diferentes zonas elongadas y/o longitud combinada, en un solo pozo, ≥ 100 m, y desviación estándar $\leq 20^\circ$.

Calidad C: Por lo menos 4 diferentes zonas de elongación y/o longitud total, en un solo pozo, ≥ 30 m, y desviación estándar $\leq 25^\circ$.

Calidad D: Menos de 3 zonas de elongación, consistentemente orientadas, o menos de 30 m de longitud total, en un solo pozo.

3. METODOS Y RESULTADOS

Para la identificación y la interpretación de las deformaciones tectónicas en los cinco pozos petroleros que motivan esta nota, se tuvieron en cuenta los conceptos descritos en el capítulo anterior y los fundamentos teóricos contenidos en los artículos de los autores allí referenciados.

A pesar de que tanto en el Valle Medio del Magdalena como en los Llanos Orientales se tiene un alto número de pozos con registros de la herramienta calibradora, por razones de tiempo y comodidad, sólo se analizaron aquellos con datos grabados en cinta magnética.

Como se menciona al comienzo, la información obtenida se procesó con la ayuda de los programas cedidos por el Instituto de Geofísica de la Universidad de Karlsruhe, que producen gráficamente, y en superposición múltiple ("stacking"), los contornos de las paredes del pozo (en este caso cada dos pies o aproximadamente 0.61 m) y generan, al mismo tiempo, diagramas rosa de las orientaciones preferenciales de los pares calibradores, en los intervalos con deformaciones dentro del límite de sensibilidad de la herramienta, como se muestra, para el caso que nos ocupa, en la Fig. 4.

En algunos intervalos se presentó la diferencia de los calipers 1 y 3, con el objeto de obtener gráficas de diferencia de contornos y detectar así la presencia de las elongaciones tectónicas "escondidas" en zonas de lavado y derrumbe. Como se muestra en la Tabla 1, los tramos de interés escogidos tienen un promedio de 300 pies (aprox. 100 m), con reprocesos de intervalos menores en las zonas de "breakouts", no muy conspicuas. En promedio los pozos del Valle Medio del Magdalena arrojaron un valor de 112° (azimut N-E) para la dirección de máxima compresión, contra 138° en los pozos de los Llanos Orientales. Estas direcciones -que son perpendiculares a las de máxima elongación observadas en los pozos estudiados- no muestran variaciones importantes con la profundidad (Tabla 1 y Fig. 5), con excepción del intervalo entre 3500 y 5500 pies del pozo Guayuriba-2, en el cual se dedujo una máxima compresión en dirección cercana a los 175° , es decir, casi N-S, que debe ser considerada anómala.

En cuanto a la calidad de los datos obtenidos (v. Tabla 1), podemos resumir lo siguiente: En el pozo Guayuriba-2 se detectaron 11 intervalos con deformaciones tectónicas, que en total tienen una longitud cercana a 3000 pies (= 914 m) y una desviación estándar de 31.8° ,

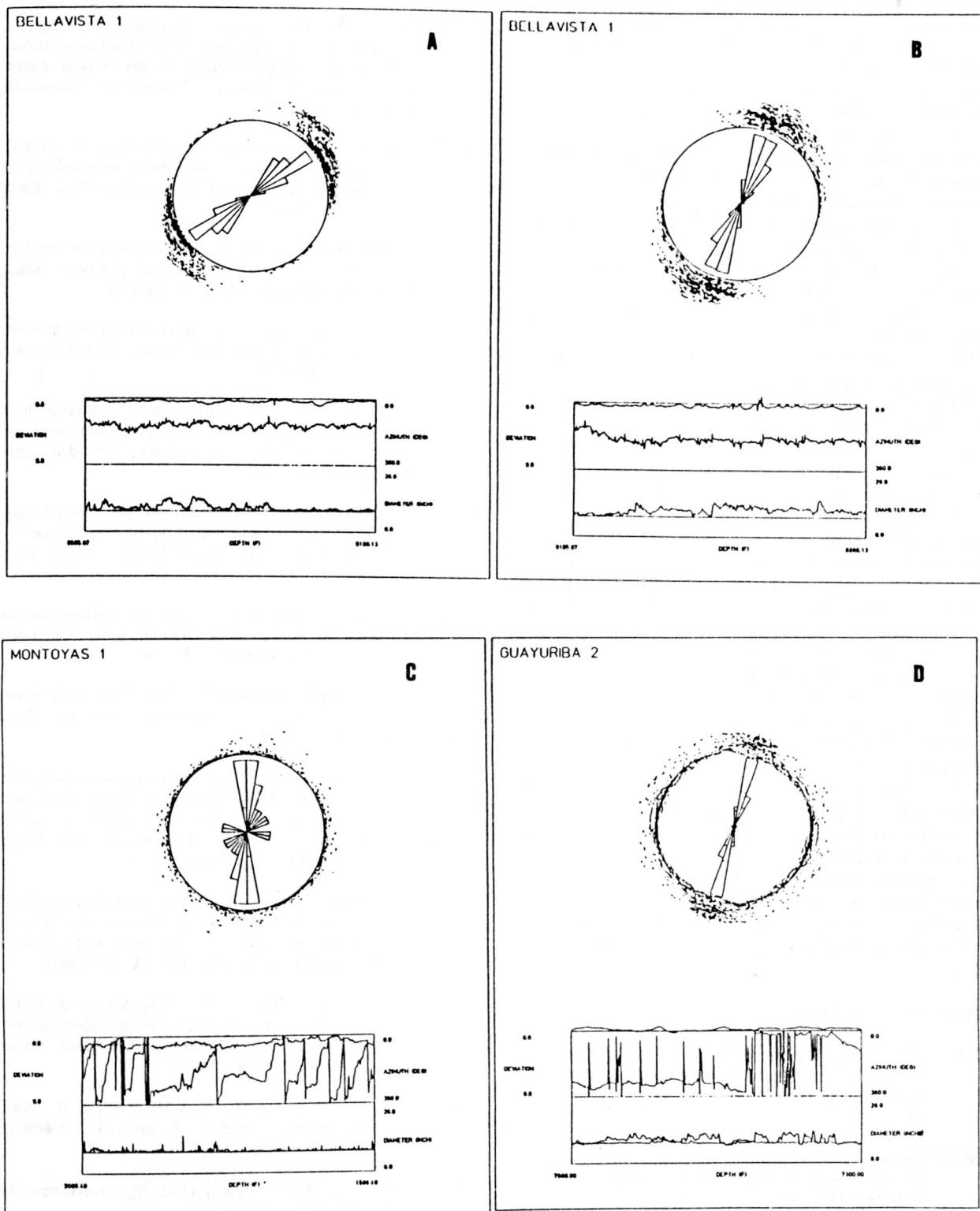


FIGURA 4. DIAGRAMAS DE ALGUNOS "BREAKOUTS", EN LOS POZOS
BELLAVISTA-1, MONTOYAS-1 Y GUAYURIBA-2

lo cual permitiría por una parte calificar estos datos como de calidad A, pero por la otra, en vista de la alta desviación estándar, caerían en la calidad D.

- En el pozo Llanos-1 se encontraron 10 intervalos con deformaciones tectónicas, con una longitud de 3000 pies (=914 m) y una desviación estándar de 11.15°, lo cual permitió calificar los datos como de calidad A.

- En el pozo Montoyas-1 se tienen 5 intervalos con deformaciones tectónicas, en una longitud total de 1426 pies (=435 m) y una desviación estándar de 8.7°, es decir se trata de datos de calidad A.

- En el pozo Entrerríos-1 se detectaron 4 intervalos con deformaciones tectónicas, con una longitud de 1415 pies (=431 m) y una desviación estándar de 2.09°, o sea datos de calidad A.

- En el pozo Bellavista-1 se detectaron 8 intervalos con deformaciones tectónicas, con una longitud de 4151 pies (=1265 m) y una desviación estándar de 6°, que en conjunto indican calidad A.

En términos generales, las orientaciones de esfuerzos obtenidas a partir de "breakouts" en los pozos de los Llanos Orientales y del Valle Medio del Magdalena son coherentes con las obtenidas a partir de direcciones preferenciales de diaclasas recientes por Mojica & Scheidegger (1983), que sugieren una dirección de máxima compresión NW-SE para Colombia Norte y Colombia Sur. Por lo demás, Mojica (1985) estudió la orientación de estilolitos horizontales (de edad tal vez Pliocena-Eocena) en rocas del Cretácico Superior de la Cordillera Oriental colombiana, y dedujo una paleomáxima compresión tectónica, a principios del Terciario, entre 120 y 140°, que, sorprendentemente, es semejante con las obtenidas a partir de los "breakouts" que nos ocupan. Vale la pena mencionar también que, recientemente Ochoa & Pongutá (1990) obtuvieron direcciones de esfuerzos recientes en el Valle Superior del Magdalena, a partir de "breakouts", análisis de redes fluviales, direcciones de planos de falla, diaclasas recientes y estilolitos horizontales, que en promedio indican una máxima compresión entre NW-SE y E-W.

Todo lo anterior sugiere una notable estabilidad del campo de esfuerzos tectónicos durante el Cenozoico en el extremo NW de Suramérica, y en particular en la región del Oriente Andino y los Llanos Orientales de Colombia.

REFERENCIAS CITADAS

- COX, J. W. (1970): The high resolution dipmeter reveals dip-related borehole and formation characteristics.- 11th. Ann. Logging Symp., Soc. Prof. Well Log analysts, 1-25.
- BABCOCK, E. A. (1978): Measurements of subsurface fractures from dipmeter logs.- Am. Asoc. Petrol. Geologists Bull., 62, 1111-1126.
- BELL, J. S. & GOUGH D. I. (1983): The use of borehole breakouts in the study of the crustal stress.- In Zoback, M. D. & Haimson, B. C. (Eds.).- Hydraulic Fracturing Stress Measurements, 201-209, National Academy Press.
- BLÜMLING, P. (1986): In-situ Spannungsmessung in Tiefbohrungen mit Hilfe von Bohrlochrandausbrüchen und die Spannungsverteilung in der Kruste Mittel-europas und Australiens.- Dissertation, Universität Karlsruhe, p.p. 1-135.
- BLÜMLING, P., FUCHS, K. & SCHNEIDER, T. (1983): Orientation of the stress field from breakouts in a crystalline well in a seismic active area.- Phys. Earth Plan. Int. 33, 250-254.
- FUCHS, K. & CLAUB, B. (1987): Borehole breakouts method for stress determination. Theory and practice.- Mscr. Geophysikalisches Institut, Univ. Karlsruhe.
- GOUGH, D. I. & BELL, J. S. (1981): Stress orientations from oil-well fractures in Alberta and Texas.- Canadian Jour. Earth Sci. 18, 638-645.
- GOUGH, D. I. & BELL, J. S. (1982): Stress orientation from borehole wall fractures with examples from Colorado, East Texas and Northern Canada.- Canadian Jour. Earth Sci. 19, 1958-1970.
- INTERNATIONAL LITHOSPHERE PROGRAMM (1990): Guidelines for data submission.- World Stress Map Project, 12 p.p. (Mscr.) U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- MOJICA, J. (1985): Estilolitos horizontales en sedimentitas del Cretácico de la Cordillera Oriental, y su significado tectónico.- Geol. Colombiana 14, 7-24.
- MOJICA, J. & SCHEIDEGGER, A. E. (1983): Diaclasas recientes en Colombia y su significado tectónico.- Geol. Colombiana 12, 57-90.
- OCHOA, L. & PONGUTÁ, S. (1990): Determinación de esfuerzos actuales en el Valle Superior del Magdalena a partir de elongaciones de pozos ("breakouts") en pozos hidrocarburíferos.- Trabajo de grado Univ. Nal., Depto. Geociencias (Mscr.), p.p. 1-104.
- PLUMB R. A. & HICKMAN, S. H. (1985): Stress induced bore-hole elongation: A comparison between the four-arm dipmeter and the borehole televiewer in the Auburn Geothermal Well.- J. Geophys. Res. 90, 5513-5522.
- PODROUZEK, A. J. & BELL, J. S. (1985): Stress orientation from Wellbore Breakouts on the Scotian Shelf, Eastern Canada.- in: Current Research part B, Geol. Survey Canada, Paper 85-1B, p.p. 59-62.
- ZOBACK, M., MOOS, D., MASTIN, L. & ANDERSON, R. (1985): Wellbore breakouts and in situ stress.- J. Geophys. Res., 90, No. B7, 5523-5530.
- SCHLUMBERGER (1983): Stratigraphic high resolution dipmeter tool.- Schlumberger.

Manuscrito recibido, Diciembre de 1990.

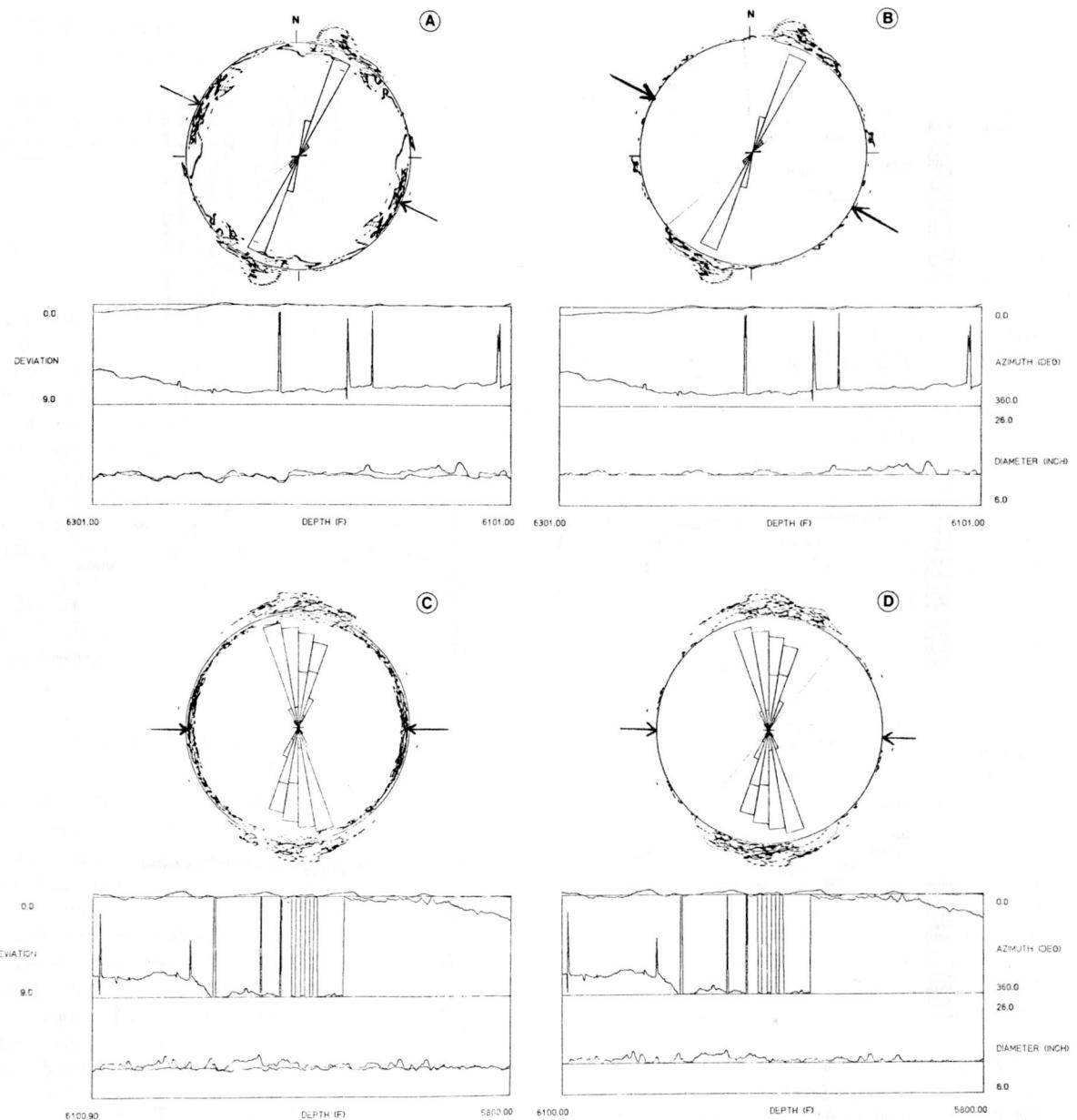


Fig. 3. Gráficas de superposición de contornos (A y C) y de diferencia de contornos (B y D) en dos intervalos del Pozo Guayuriba 2. Las flechas señalan la dirección promedio de la máxima compresión horizontal (SH máx.); los diagramas rosa las posiciones preferenciales de los patines en el intervalo con deformación tectónica. Los registros muestran: la desviación del pozo (Deviation), la rotación de la herramienta (Azimuth), y la apertura real de los dos pares de patines (A y C) o la diferencia de aperturas entre los mismos (B y D). Detalles en el texto.

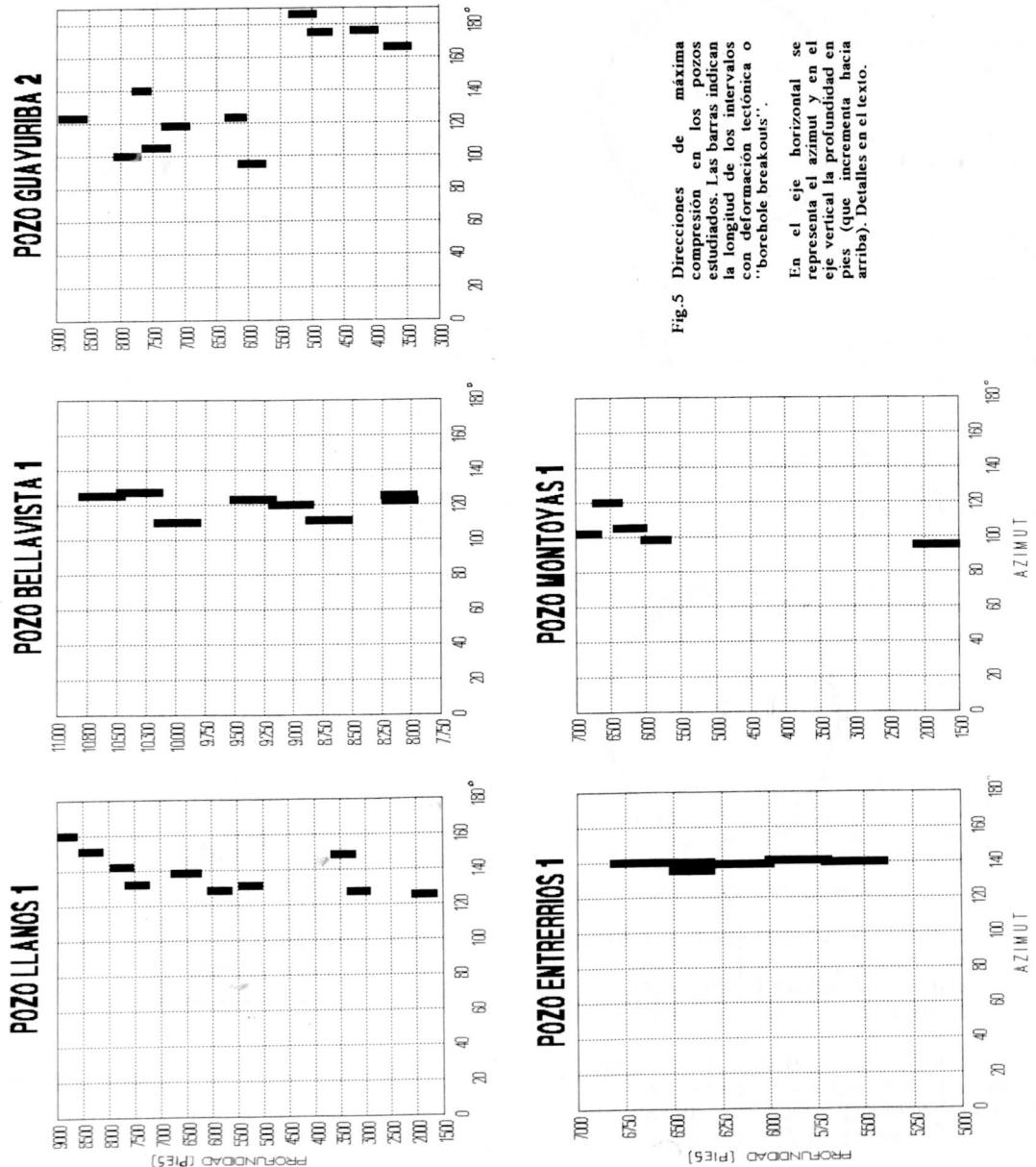


Fig. 5 Direcciones de máxima compresión en los pozos estudiados. Las barras indican la longitud de los intervalos con deformación tectónica o "borehole breakouts".

En el eje horizontal se representa el azimut y en el eje vertical la profundidad en pies (que incrementa hacia arriba). Detalles en el texto.