

COMPRESION Y DILATACION NORTE-SUR EN EL SUROESTE DEL VALLE CENTRAL, COSTA RICA

Olman Arias & Percy Denyer

Escuela de Geología, Apdo. 35, 2060 Universidad de Costa Rica

(Recibido 12/1/94, Aceptado 2/6/94)

ABSTRACT: The relationship between relaxation and compression during brittle deformation is shown in Concepción Creek (central region of Costa Rica). The principal stress axes and the ratio between principal stress magnitudes was determined using slip planes. This preliminary results were compared to the tensional fractures. The north-south compressive stress caused reverse and strike-slip faults, the decompression caused E-W fractures zones. The analysis of these tectonics situations must consider several generations of faults and joints. The different generations must be analyzed separately. First of all, the number of fracture generations must be recognized, to determine the direction and relationship between their principal stress axes.

RESUMEN: Para mostrar el efecto de la relajación en la deformación frágil, se muestra un ejemplo en la quebrada Concepción. Se determinaron las orientaciones de los ejes de esfuerzos principales y la relación entre las magnitudes de los esfuerzos principales, utilizando los planos de fallas con movimiento relativo, y luego se confrontaron con las fracturas tensionales. El estudio revela que la compresión norte-sur originó fallas transcurrentes e inversas y fracturas tensionales norte-sur por compresión y este-oeste por relajamiento. El análisis de este tipo de situaciones tectónicas obliga a una definición clara de las diferentes generaciones de fallas en el campo, de no hacerse así, tanto los valores de las orientaciones de los esfuerzos principales, así como la relación entre sus magnitudes (ϕ), estarán erradas.

INTRODUCCION

En la sección baja de la quebrada Concepción se tiene planeada la construcción de un puente como parte del proyecto de carretera Orotina-Ciudad Colón (Fig. 1), coordenadas Lambert Costa Rica Norte: 212,20 N y 485,70 E. Para este proyecto se hizo un trabajo de índole geológico estructural, por parte de la empresa IMNSA Ingenieros Consultores S.A. En este artículo se resumen parte de los resultados de esta investigación y se relacionan con las conclusiones encontradas por Arias & Denyer (1991).

En la localidad citada se hizo un reconocimiento litológico estratigráfico, con base en el cual se considera que las rocas aflorantes corresponden a la sección muy superior de la Formación La Cruz, y que fue cartografiada anteriormente como Formación Grifo Alto (Arias & Denyer, 1990).

El levantamiento estructural incluyó la toma de 458 datos, entre fallas y diaclasas, los cuales fueron analizadas independientemente, utilizando los programas de computación AREST, ROSA, PLANRAKE (Arias, 1992), STRESS (Villemin & Charlesworth, según curso impartido en 1993), SPLOT, versión 2.0 (DARTON Software).

En el presente trabajo se utilizará el término geológico "falla" para aquellas discontinuidades que presentan evidencias de haber tenido movimientos relativos tangentes al plano (cizalla); como "fracturas o diaclasas" se denominan a las discontinuidades cuyo movimiento no es observable, o es normal a la superficie (cizalla nula).

En este trabajo, se pretenden mostrar con un ejemplo, las inversiones de la dirección de los ejes de esfuerzos; que de no ser separadas como generaciones independientes darán direcciones de esfuerzos erradas. De la misma forma se incurrirá en errores en la relación entre ellos ($\phi = N_2 - N_3 / N_1 - N_2$), y especialmente las estructuras originadas

durante el relajamiento, las cuales deben de excluirse en la búsqueda de los ejes de esfuerzos de la misma fase, o por lo menos deben de ser analizadas como dos eventos tectónicos independientes.

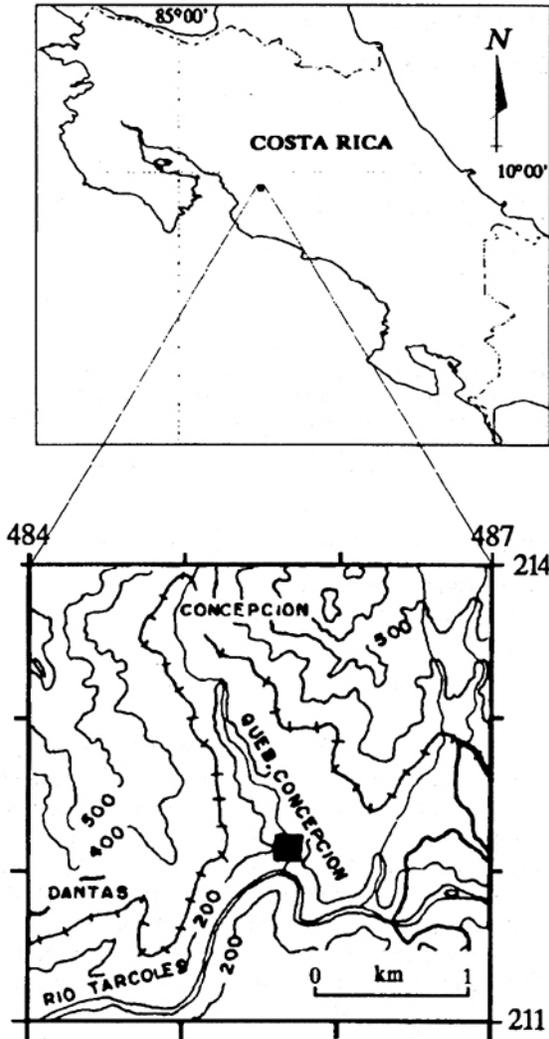


Fig. 1: Mapa de ubicación

GEOLOGIA

Litológicamente, la localidad se compone de lavas y flujos piroclásticos Mio-Pliocenos, pertenecientes a la sección muy superior de la Formación La Cruz.

Los flujos piroclásticos tienen fragmentos subredondeados centimétricos hasta métricos. La matriz presenta un endurecimiento, probablemente secundario, el cual ha favorecido el desarrollo de algunos minerales como plagioclasas y ferromagnesianos, dándole el aspecto de lava en sección delgada. Los mismos fluidos que produjeron el eventual endurecimiento de la unidad, originaron la formación de aureolas alrededor de los bloques constituyentes del flujo (Kusssmaul, 1993: com. pers.).

La actividad hidrotermal ha afectado tanto física como químicamente a las rocas presentes. Entre las principales evidencias de la alteración hidrotermal destacan el endurecimiento del flujo piroclástico, el relleno de fracturas con orientación preferencial norte-sur y este-oeste, y la caolinización de basaltos porfíricos. En algunas de las fracturas, además del relleno de cuarzo, también se da una zona de influencia de los fluidos, manifestado con la decoloración de la roca caja y otra de intenso fracturamiento paralelo a las fracturas principales (Fig. 2).

Destaca una zona de brecha hidrotermal (Fig. 3) con rumbo este-oeste, de unos sesenta centímetros de ancho, buzante ochenta grados al sur y cuya sección de fracturamiento es de dos metros. INSUMA (1987) hace referencia a este fracturamiento y lo describe como una zona de falla con rumbo este-oeste, buzando 72 grados al sur, con un espesor promedio de 1,5 m, rellena de material altamente triturado silicificado, con arcilla y mineralización de pirita.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Arias & Denyer (1991) señalan que en el límite Mio-Plioceno ocurrió, una gran compresión de sur a norte. Esto está de acuerdo con lo observado en el campo, en donde se presentan sistemas de fracturas conjugadas de bajo ángulo, buzando al norte y al sur (Fig. 4), asociadas a fallas inversas cuyas zonas de brecha de falla ya han sido socavadas parcialmente por la Quebrada Concepción. Relacionada a esta misma tectónica se dan además fracturas de tipo a-c (paralelas al esfuerzo principal máximo) con rumbo norte-sur (Fig. 5), las cuales controlan el patrón del río en el sitio. Estas fracturas son tensionales y rellenas de cuarzo (Fig. 5), algunas de las cuales poseen también movimiento dextral.



Fig. 2: Zona de intenso fracturamiento paralela a fractura rellena con cuarzo (N-S).



Fig. 3: Fractura principal por elajamiento (E-W)



Fig. 4: Cizalla conjugadas de bajo ángulo

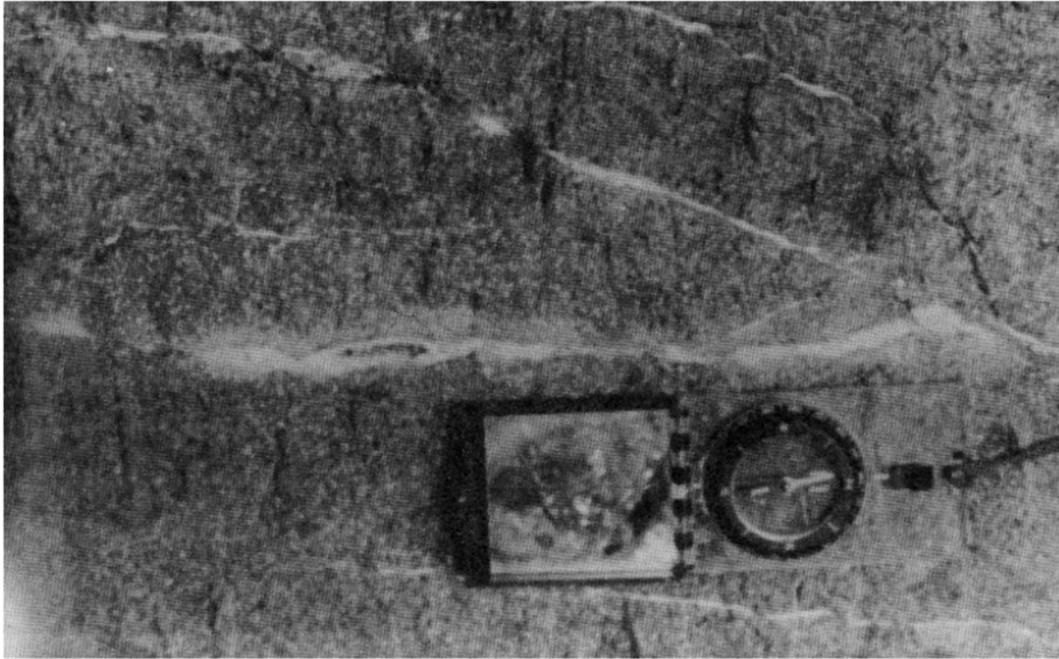


Fig. 5: Fracturas por compresión (N-S) y por relajamiento (E-w)

Análisis

La tectónica presente en el área comprende una deformación frágil y superficial, y como tal se analizaron e interpretaron los datos.

El procesado de la información consistió, en primera instancia en un análisis de los polos, los rumbos y los buzamientos de la totalidad de los planos de fallas y diaclasas (Fig. 6a). De los gráficos por el método Pi y las rosas de rumbos y buzamientos, se destacan claramente tres patrones; uno norte-sur, otro este-oeste y un tercero horizontal.

El segundo análisis consistió en procesar independientemente las fallas con zona de brecha y las fracturas rellenas con cuarzo (Figs. 6b y 6c). Las que poseen brecha de falla (Fig. 6b) se concentran hacia la horizontal, pero con una gran dispersión en el rumbo. La segunda concentración en importancia la constituye fallas subverticales buzantes hacia el oeste-suroeste y presentan una mejor definición de sus rumbos que el grupo anterior. Las fracturas con cuarzo (Fig. 6c) son predominantemente subverticales con buzamientos preferenciales hacia el sur, oeste y este-sureste, así mismo se observa una mayor verticalidad en los planos con rumbo noreste.

Las fallas con estrías se graficaron en un diagrama triangular, cuyos extremos están dados por las fallas transcurrente, gravitacional e inversa (Fig. 7), el cálculo de estas tres componentes del movimiento de cada una de las fallas se realizó mediante las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Transcurrente} &= \sqrt{(I.P. * (90 - A.R.)) / 90}; \\ \text{Inversa} &= \sqrt{((90 - I.P.) * A.R.) / 90} \quad \text{y} \\ \text{Gravitacional} &= \sqrt{(I.P. * A.R.) / 90} \end{aligned}$$

(I.P.= inclinación del plano de falla; A.R. = ángulo de rake).

Del gráfico (Fig. 7) se desprende que los ángulos de rake menores, entre los 0 y los 30 grados, se asocian a planos verticales. A partir de este punto se observa que al ir disminuyendo la inclinación del plano de falla se va aumentando el ángulo de rake, lo cual en primera instancia relaciona estas fallas con movimientos inversos y no gravitacionales.

En esta misma figura se muestran tres concentraciones importantes; la primera la constituyen fallas con rake igual a 0, la segunda son fallas con rakes alrededor de los 30 grados e inclinaciones de los planos de fallas cercanos a 60°.

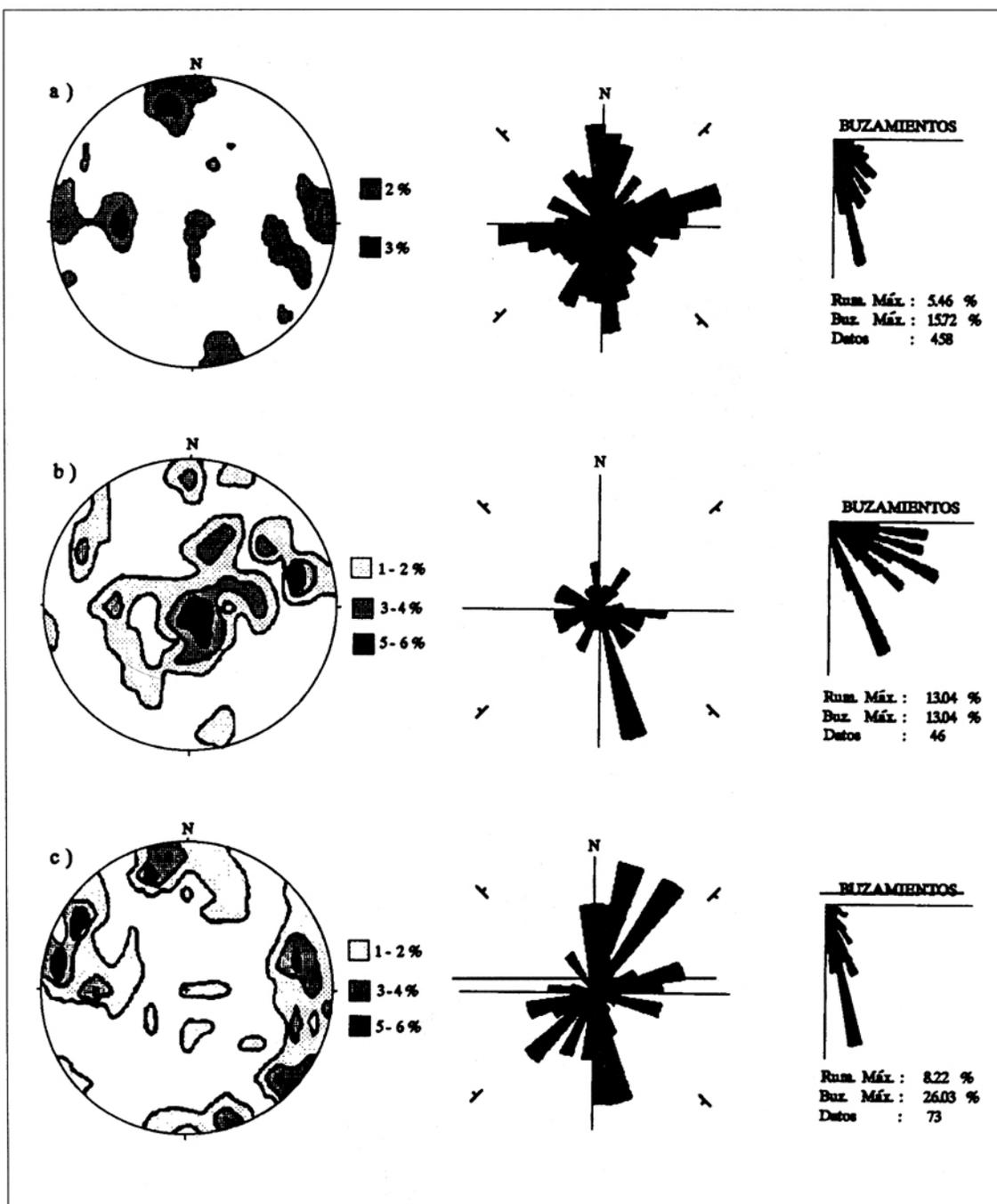


Fig. 6: Análisis de fracturas y fallas a) Totalidad de los planos, b) Fallas con milonita o con brecha de falla, c) Fallas y fracturas rellenas con cuarzo.

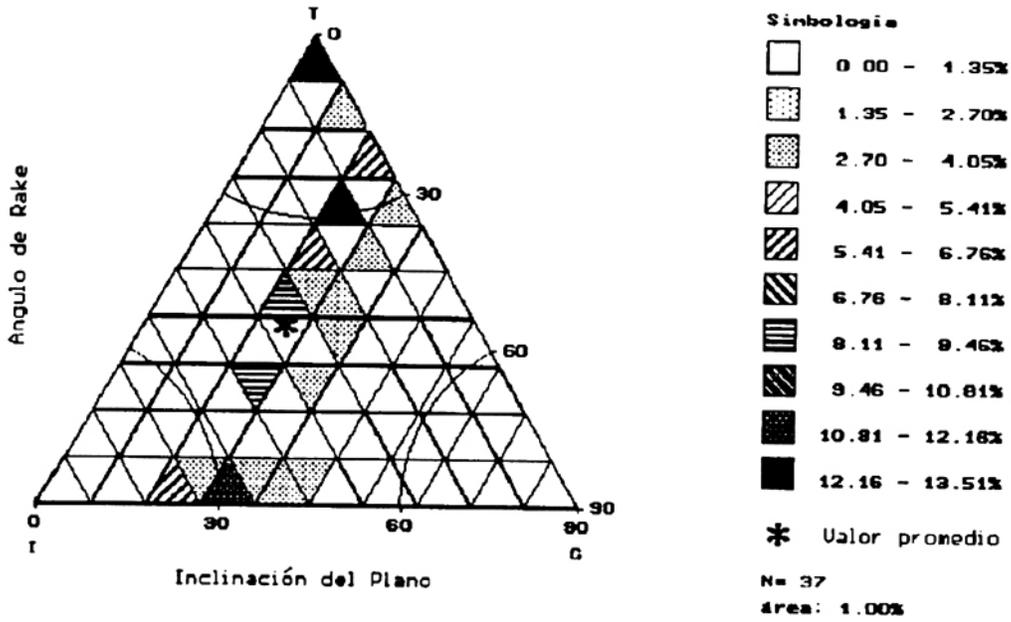


Fig. 7: Gráfico de ángulo de rake contra inclinación del plano de falla.

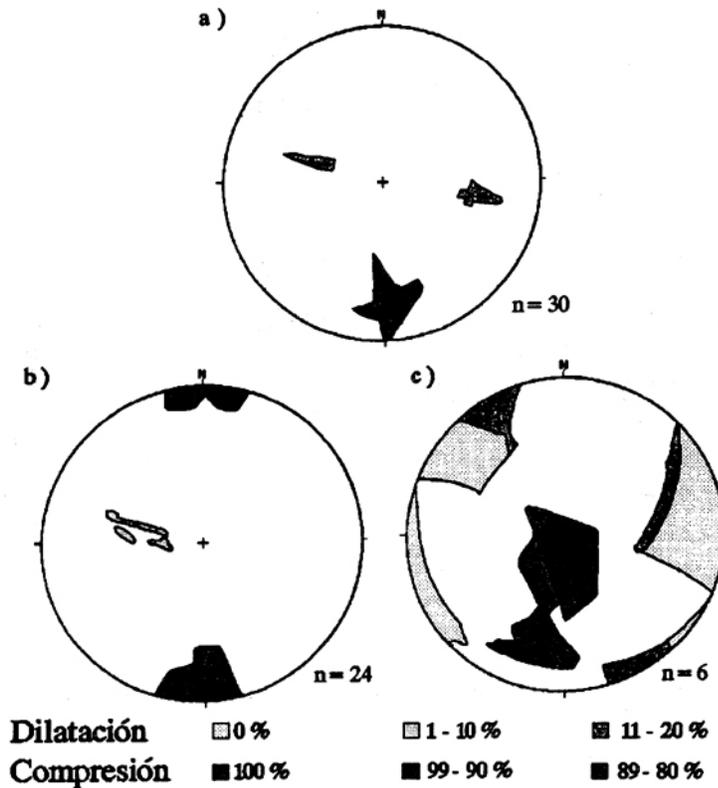


Fig. 8: Método de los diedros rectos. a) Total de movimientos relativos, b) Movimientos relativos durante la compresión, c) Movimientos relativos durante el relajamiento.

la tercera concentración importante son las fallas con rakes cercanos a 90° y planos con inclinaciones próximas a 30° . Lo que muestra lo bien que se encuentran representadas las fallas transcurrentes e inversas no así las normales.

Se usó el método de los diedros rectos para analizar las fallas con movimiento relativo observable, las cuales habían sido previamente clasificadas de acuerdo a la confiabilidad del movimiento, en tres categorías: certero, probable y supuesto; para su graficación (Fig. 4) la primera se multiplicó por un factor de tres, la segunda por dos y la última por uno.

En la figura 8a se graficaron el total de fallas con movimiento relativo observable, tanto las generadas durante la compresión como aquellas producto de la relajación en la cual se muestra un claro dominio compresivo norte-sur, sin embargo la dilatación no se presenta bien definida. Esto se interpreta como la influencia de los datos de fallas inversas y transcurrentes producidas durante el evento compresivo. El análisis de las fallas producidas durante la compresión (Fig. 8b) es similar, con la diferencia de que N_2 y N_3 están ligeramente mejor definidos.

La figura 8c representa el análisis de las fallas causadas por la relajación, siendo esta la única figura que muestra el N_1 vertical, importante no por la cantidad de datos, sino por su carácter cualitativo, al ser basada en la observación de campo de una inversión de N_1 y N_3 , aportada por las fracturas tensionales norte-sur y este-oeste.

De lo anterior sobresale el hecho de que la figura 4a no muestra ninguna evidencia de la dilatación y la compresión norte-sur, lo que hace evidente que el análisis de movimientos relativos no aporta la suficiente información para la separación de eventos tectónicos; siendo necesario realizar análisis complementarios.

Utilizando el método de inversión directa se obtuvieron las direcciones de los ejes de esfuerzos principales y la relación entre estos ($\emptyset = N_2 - N_3 / N_1 - N_3$). Para realizar dicho análisis se dividieron los datos en dos generaciones; la primera constituida por los movimientos ocurridos durante la compresión (Fig. 8b) y la segunda son los provocados por el proceso de relajación (Fig. 8c). Los ejes principales para la primera fase y la relación entre estos son: $N_1 = 002/05$; $N_2 = 218/84$; $N_3 = 092/04$ y $\emptyset = 0,21$. Para la segunda generación son: $N_1 = 035/28$; $N_2 = 232/61$; $N_3 = 129/07$ y $\emptyset = 0,45$. Con la finalidad de poder observar la distorsión

que provoca la combinación de ambas generaciones de fallas, estas se combinaron (Fig. 8a) y se obtuvieron los siguientes resultados: $N_1 = 006/09$; $N_2 = 180/81$; $N_3 = 276/01$ y $\emptyset = 0,37$.

DISCUSION

Por la edad de las rocas afectadas (finales del Mio-Pliocenas) y por la edad de la última gran compresión regional descrita (Arias & Denyer, 1991), se ha partido de la premisa de que todas las fracturas se originaron durante este evento tectónico, y por consiguiente no se trata de planos preexistentes, con excepción de los movimientos ocurridos por la descompresión, los cuales se valieron de los planos originados durante la primera generación de fallas.

En la figura 9 se presenta un modelo teórico de la generación de fracturas de cizalla y de extensión originadas durante la compresión y la dilatación. El cual sintetiza la historia tectónica ocurrida en la zona de estudio.

a) *Compresión norte-sur*

La compresión norte-sur que ocurrió durante el Mio-Plioceno, quedó expresada en las rocas en forma de fallas inversas y transcurrentes, como se muestra en el análisis de fallas con brecha o microbrecha (Fig. 6b), en el de fracturas rellenas con cuarzo (Fig. 6c) y en el gráfico de buzamientos de los planos de falla contra el rake (Fig. 7). Como se muestra en el análisis de los movimientos relativos por el método de los diedros rectos (Fig. 8b), el eje de compresión principal máximo se encuentra bien definido con una dirección norte-sur, por su parte la dilatación no está tan bien definida. Las fallas inversas son las que originaron mayor cantidad de brecha (Fig. 6b) por ser las zonas con más liberación de energía. Las fallas transcurrentes han influenciado la orientación del eje de dilatación, dándole a este una importante componente horizontal hacia el oeste (Fig. 8b), esto también se refleja en los valores obtenidos para el tensor de esfuerzos donde N_1 se encuentra orientado norte-sur y el bajo valor de \emptyset (0,21) nos confirma la similitud en la magnitud entre N_2 y N_3 .

Como se ha mencionado, las fallas inversas, son las que mayor cantidad de brecha de falla presentan (Fig. 2b), y en un segundo término las fallas con rumbo nor-noroeste. Estas últimas fracturas

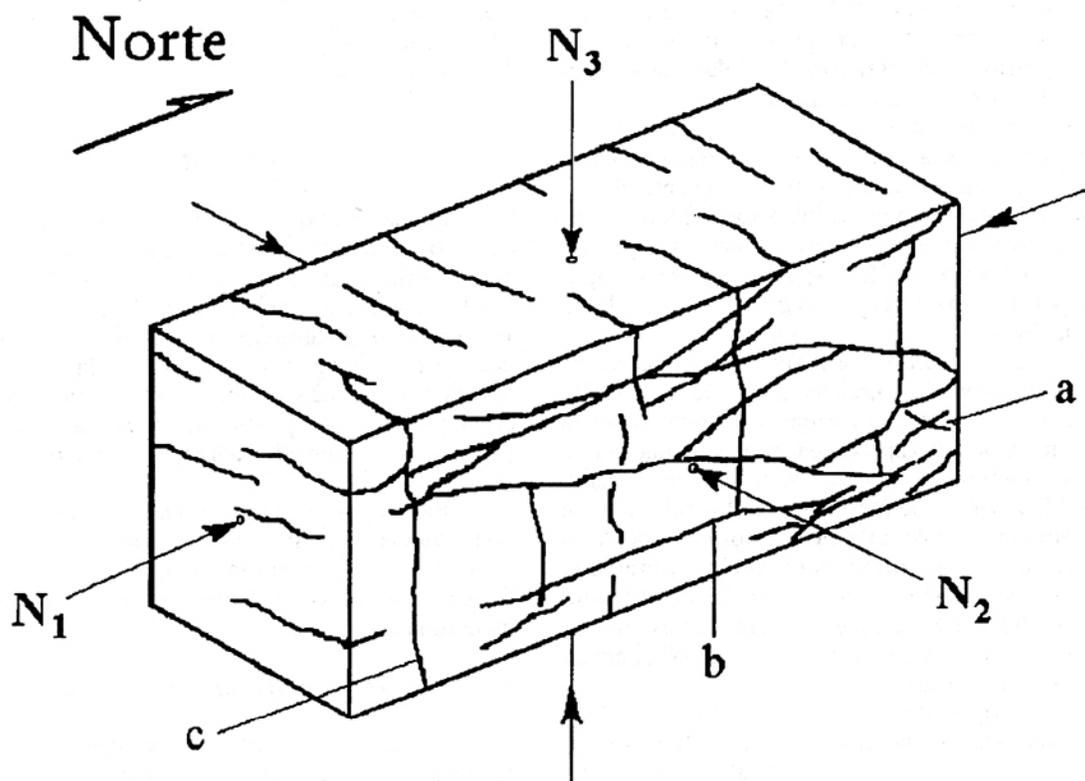


Fig. 9: Modelo teórico de fracturas por compresión y por relajamiento (cf. el experimento de W. Means (En: Hobbs, Means & Williams, 1981)

- a) Cizalla conjugadas (Fig. 4)
- b) Extensión durante la compresión (Fig. 5)
- c) Extensión por relajamiento (Figs. 3 y 5).

también se presentan rellenas de cuarzo (Figs. 5 y 6c) por lo que se considera que son fallas con un comportamiento transtensional. Pero son las fallas con rumbo noreste las que en realidad presentan un carácter tensional bien definido (Fig. 6c).

Durante esta compresión no tienen lugar las fracturas tensionales este-oeste (Figs. 5 y 6c), a la cual está asociada la zona de fracturamiento de 2 m de ancho (Fig. 3). Hobbs, Means & Williams (1981) relacionan su formación con la eliminación del esfuerzo principal máximo y las denominan fracturas tensionales de relajamiento (Fig. 9).

Por tal razón se desprende con claridad que en el sitio de estudio, durante su historia geológica han ocurrido inversiones de los ejes de esfuerzos principales, de los cuales la compresión norte-sur y la dilatación en este mismo sentido son las más

destacadas. Las fracturas con rumbo norte-sur también pueden estar relacionadas con la compresión norte-sur, pero con un eje extensional este-oeste

b) *Descompresión norte-sur*

Las fracturas con rumbo este-oeste originadas por la descompresión norte-sur, fueron aprovechadas por los fluidos hidrotermales para su ascenso, rellenándolas con cuarzo (Figs. 3 y 6c), originando mineralizaciones en algunas de estas fracturas (Fig. 3); estas han sido explotadas artesanalmente en la extracción aurífera.

El comportamiento de estas fracturas es netamente tensional, provocadas por la inversión de los ejes de esfuerzos post-deformación y no parecen

haber sido reutilizadas durante otros eventos tectónicos.

Durante el período de relajación, además de originarse el fracturamiento E-W, las fallas que durante la compresión N-S se comportaron como fallas transcurrentes, tuvieron un comportamiento gravitacional (Fig 8c). Aunque en las fallas inversas no se observó este tipo de movimiento (Fig. 6b), no se descarta que durante el relajamiento también estos planos hayan sido utilizados como vías para la liberación de la energía de deformación (Fig. 7).

A las fallas que se les pudo determinar el movimiento gravitacional se les utilizó en el análisis de los diedros rectos (Fig. 8c), en el cual se observa que la dilatación se concentra hacia el E-W y no al N-S, como debería darse, por ser la dilatación en este sentido la que está provocando el movimiento de las fallas gravitacionales.

CONCLUSIONES

Del análisis de las fracturas medidas en la Quebrada Concepción, se destaca la predominancia de tres patrones, todos ortogonales entre sí. Uno de rumbo este-oeste, otro norte-sur con una importante inclinación hacia el este, y el último sub-horizontal.

El comportamiento de las discontinuidades depende de la ubicación espacial en la que se encuentra. Las fracturas este-oeste son netamente tensionales; las horizontales fueron utilizadas por el fallamiento inverso y las norte-sur son tensionales, transtensionales y normales.

El desplazamiento transcurrente en las fallas norte-sur puede deberse a una actividad post-Pliocena, por encontrarse afectando planos parcialmente rellenos con cuarzo.

El relajamiento post-compresión N-S, provocó el fracturamiento extensional E-W. Dichas fracturas colaboraron con el ascenso de los fluidos hidrotermales que silicificaron las rocas y que rellenan total o parcialmente de cuarzo las fracturas extensionales, originando pequeñas zonas mineralizadas.

El desplazamiento en las fallas transcurrentes e inversas ha quedado de manifiesto con el bajo valor de \emptyset (0,21), el cual evidencia la similitud entre las magnitudes de N_2 y N_3 durante el período de compresión N-S.

El movimiento en las fallas gravitacionales con rumbo N-S, ha provocado que el eje de tensión en el análisis por el método de los diedros rectos sea E-W y no N-S, como lo evidencia la formación de fracturas tensionales por relajamiento, con rumbo E-W.

Con la combinación de las fallas de las dos generaciones, se obtuvo un \emptyset de 0,37, lo cual muestra una sensibilidad de este valor a la combinación de los valores obtenidos durante la compresión ($\emptyset=0,21$) y el relajamiento ($\emptyset=0,45$). Esto demuestra, también la importancia de identificar los movimientos ocurridos durante la acción y los ocurridos durante la reacción ante los esfuerzos compresivos.

El relajamiento simplemente se debe a una inversión en los ejes de esfuerzo principal máximo, o sea el eje que durante la compresión fue N_1 durante el relajamiento es N_3 . La inversión de los ejes se originó como consecuencia de la deformación, que al liberar energía provoca que se varíe la relación entre los ejes de esfuerzo (máximo, mínimo e intermedio).

Si se considera que las fallas inversas y transcurrentes no son contemporáneas, o sea que las fallas inversas se originaron durante el período de mayor acumulación de energía y posterior a éste se formaron las fallas transcurrentes, entonces ambos patrones deben de analizarse como generaciones independientes, y el valor de \emptyset de 0,21 que se obtuvo con la combinación de ambas fallas, implica que se trata de dos valores de \emptyset cercanos a 0,5 y podrían existir tres y no dos generaciones de fallas durante este evento tectónico, como también lo muestran las figuras 8a y 8b.

El estudio revela una compresión y una dilatación N-S, pero no se define con claridad la orientación y relación entre los ejes principales, al no establecerse con certeza el número preciso de generaciones y al no contemplarse para su determinación las fracturas tensionales. Por lo tanto la metodología de los diedros rectos, o cualquier otro que utilice únicamente de los movimientos relativos, carece de efectividad en casos similares al puesto en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ARIAS, O., 1992: Manejo automatizado de datos estructurales y su aplicación en la geología estructural de Costa Rica.- San José: Tesis

- de Licenciatura de la Universidad de Costa Rica, 171 p.
- ARIAS, O. & DENYER, P., 1990: Geología de la haja Río Grande (mapa 1:50 000) .- San José: Instituto Geográfico Nacional
- ARIAS, O & DENYER, P., 1991: Estructura Geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Caraires, Candelaria, Río Grande, Costa Rica. - Rev. Geol. América Central, 12: 61-74.
- DENYER, P. & ARIAS, O.: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 12: 1-59.
- HOBBS, B., MEANS, W. & WILLIAMS, P., 1981: Geología Estructural.- Ediciones Omega, S. A. 518 p.
- INSUMA, 1987: Estudio Geológico-Geotécnico del Tramo entre Quebradas, Nances y Dantas.- Informe inedito. 46 págs. + anexos.
- PETIT, J.P., PROUST, F. & TAPPONNIER, P., 1983: Critères de sens de mouvement sur les miroirs de faille en roches non calcariées.- Bull. Soc. géol. France, 7, t. XXV (4): 589-608.