

# METODOS EN ANALISIS DE DEFORMACION

32

Uno de los grandes interrogantes que se plantea el geólogo al tratar de reconstruir los hechos a través del tiempo, es el conocer la historia de los movimientos a través de una masa de roca deformada a cualquier escala.

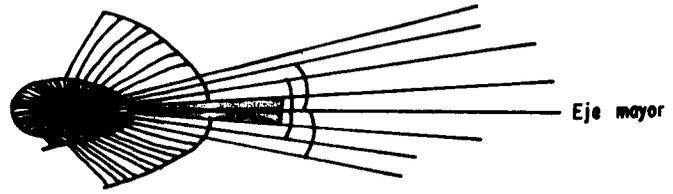
Por este motivo hemos realizado dos análisis de deformación basados en fósiles deformados (amonitas) y diaclasas, en dos importantes zonas del país, en el primer caso a la altura de Puente Quetame en el flanco este de la Cordillera Oriental y el segundo en el costado SE de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Con el objeto de que la comunidad estudiantil pueda realizar más trabajos sobre este tópico que aporten al conocimiento geológico del país, se presentan detalladamente los pasos a seguir para realizar este análisis cinemático de las rocas y los problemas y limitaciones que puedan surgir en el desarrollo del mismo.

Carlos Jaramillo M. UN \*

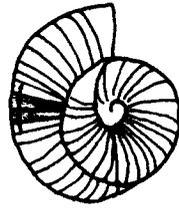
Camilo Montes R. UN \*\*

# Fósiles deformados\*



Amonita no deformada

Escala 1:2



Amonita deformada

Simetría de las costillas respecto al eje mayor NO se conserva.

33

## RESUMEN

*Basándose en 29 amonitas deformadas, medidas en la región de Puente Quetame, se identificó una dirección de cizalla siempre para la zona cuya dirección es N60W y un acortamiento y extensión máxima del 25 y 33% respectivamente.*

## INTRODUCCION

Se presenta un análisis cinemático de las rocas aflorantes en la región de Puente Quetame (unidad media, grupo Cáqueza, (Restrepo, 1989)), kilómetro 61 Bogotá Villavicencio, utilizando 29 amonitas deformadas; estas se pueden asimilar a una elipse y en su estado inicial a un círculo.

Los parámetros que describen tanto a la elipse como al círculo son:  $R$  = relación eje mayor/eje menor,  $\phi$  = ángulo entre el eje mayor de la amonita deformada y una línea patrón cualquiera,  $\phi$  = ángulo entre el EM de la amonita deformada y la elipse de deformación,  $(1 + e1)$  = extensión EM,  $(1 + e2)$  = extensión em..

En un proceso de deformación cualquiera, esta puede ser de dos clases, rígida (traslación y/o rotación) y no rígida (distorsión y/o dilatación). La mayoría de las rocas sufren deformaciones no rígidas o internas (strain).

Para tratar de reconstruir el movimiento se supone una deformación no rígida homogénea (líneas rectas se

conservan y líneas paralelas lo siguen siendo); aunque en la naturaleza este hecho no se da, se puede inferir que la deformación heterogénea que en realidad se produce, está compuesta de infinitesimales de formaciones homogéneas, que ocasionan progresiva deformación a través del tiempo.

Básicamente existen dos tipos de deformación interna: De cizalla pura o netamente compresional que implica rotación interna más no externa de las partículas que componen el cuerpo y de cizalla simple que involucra ambos movimientos.

**METODOLOGIA Y DESARROLLO**

En la recolección de los datos para su posterior análisis, se siguió un riguroso proceso, partiendo del hecho de que los fósiles medibles deben comportarse mecánicamente de igual forma que la roca encajante y siguiendo las etapas a continuación mencionadas:

1. Para cada amonita deformada se midió el ángulo entre su eje mayor y el rumbo de la capa sobre la cual se encuentre (fig. 1.)

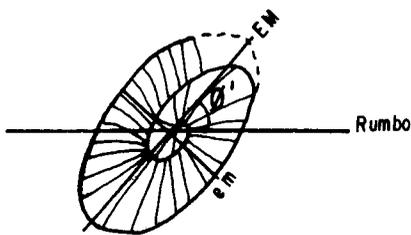


Figura N°1 Medida de  $\phi'$  en el campo.

2. Se determinó la longitud del eje mayor y el eje menor para cada fósil deformado.

3. Se recogieron las mejores muestras para el posterior análisis de su morfología interna.

4. Se determinaron "grosso modo" las direcciones de algunas microestructuras (ejes de micropliegues, microfallas, etc.).

5. Una vez colectados los datos (Tabla 1) se procedió a corregir cada dirección de eje mayor tomada (pues es afectada por el rumbo y el buzamiento de cada capa), para obtener así una real dirección.

La corrección se hace mediante el uso de la plantilla de Schmidt, realizando los siguientes pasos: - Se representa el rumbo y buzamiento de la capa estereográficamente. - Se ubica la dirección de rumbo sobre la línea N-S y se procede a contar el ángulo a partir del eje sur. - Regreso a la posición original obteniendo así la verdadera dirección de eje mayor de la amonita deformada.

6. Se escogió un rumbo cualquiera (preferencialmente el que se encuentre en el promedio entre las direcciones de los ejes mayores) y sobre la plantilla de Schmidt se midió el ángulo que separa cada dirección corregida del rumbo escogido, de esta manera se obtuvieron todas las medidas con respecto a una sola dirección (fig. 2).

7. A este nivel del análisis se llegó a un tópicico que para el geólogo es difícil solucionar: LA DEFORMACION INTERNA OBEDECE A UN ESFUERZO COMPRESIONAL (CIZALLA PURA) o por el contrario se debió a CIZALLA SIMPLE (ROTACION + COMPRESION)?

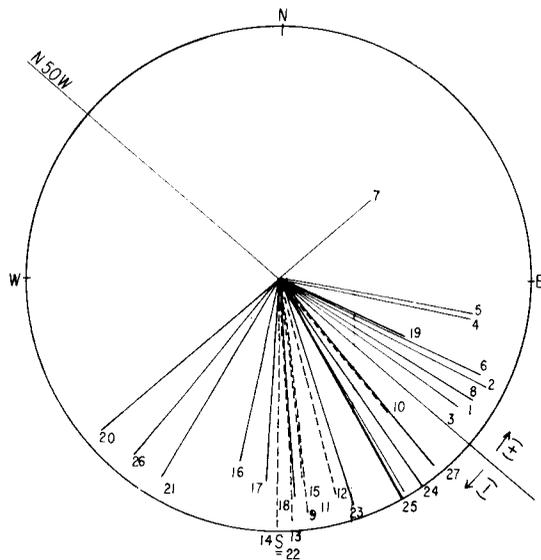


Figura Nº 2 Representación estereográfica de las direcciones de eje mayor.

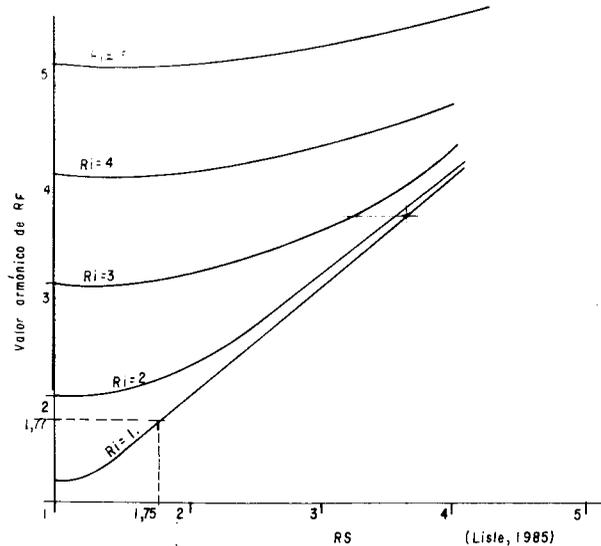


Figura Nº 4 Determinación de Rs de la elipse de la formación.

Este interrogante será resuelto más adelante, por el momento en aras del sentido didáctico del trabajo, atacaremos el análisis para las dos posibles alternativas.

A. Si se decide que la deformación fue un proceso de cizalla pura, se siguen las siguientes etapas, de acuerdo al método propuesto por LISLE (1985).

I) Se gráfica Rs vs. (fig. 3). Es importante que la escala sea decimal (1 cm = 10), el eje Y (Rf) debe poseer una escala logarítmica de 12.5 cm por ciclo.

II) Se determina el valor armónico de los Rf y el vector principal.

$$\bar{R}_f = N / (R_f^{-1} + R_f^{-2} + \dots + R_f^{-N}) = 1,77$$

$$\bar{\theta} = 1/2 [ \text{Arctan} (\Sigma \text{Sin } 2\theta / \Sigma \text{Cos } 2\theta) ] = -23$$

Con estos valores se divide el gráfico Rf/O en 4 áreas (fig. 3) y se aplica el llamado test de simetría.

$$I_{sim} = 1 - (|n_A - n_B| + |n_C - n_D|)$$

Valores bajos de este Isim (menores a 0.75) indican una pobre orientación desordenada de los marcadores en el estado no deformado, para el caso específico de las amonitas, este índice será alto siempre (la amonita es aproximadamente un círculo en su estado no deformado, por tanto su orientación será prácticamente la misma).

III) Una vez superado este test (si por alguna razón el Isim es menor a 0.75 se recomienda consultar a LISLE, 1985) para obtener mayor información, se utiliza la fig. 4. para determinar el valor de Rs, en este caso Rs = 1.75 con una orientación de su eje mayor N27W y su eje menor N63E (hallada a partir de).

De acuerdo al Rs hallado se produce un estiramiento máximo del 30% y un acortamiento máximo del 25%.

B. Por otra parte, si se acepta la hipótesis contraria (cizalla simple) se procedería de la siguiente manera:

I) Se halla Y Rf de acuerdo a las fórmulas expresadas anteriormente Rs = 1.77 - 23.

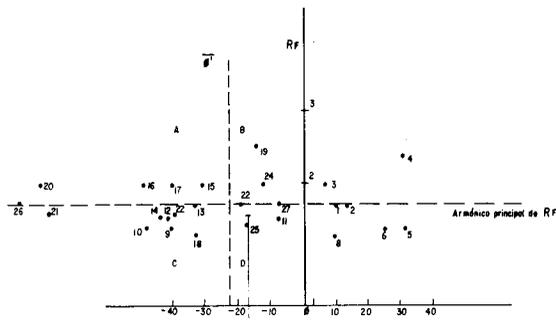


Figura N° 3 Gráfico de  $R_f$  vs  $\theta'$

II) Sobre la máquina de brazos paralelos (fig. 5) se dibuja un círculo y se ejerce cizalla hasta una relación de  $R_f = 1.77$ , en ese punto se mide la dirección de cizalla suponiendo la dirección del eje mayor N27W. Como se podrá observar dos posibles direcciones de cizalla pueden ser halladas, problema que se resuelve por el tren general de los micropliegues (N37W) y realizando una rápida revisión de las estructuras regionales de la zona. De esta forma se obtiene una dirección principal de cizalla N60W, con un  $R_s = 1.77$  y una extensión de acortamiento máximo del 33 y 25% respectivamente.

Así se han considerado analíticamente las dos posibles soluciones pero se descarta una de ellas basándose en la morfología interna de las amonitas deformadas. Si la deformación fue por cizalla pura los ángulos de las costillas frente a una central correspondiente al eje mayor se conservarán simétricos, por el contrario si el proceso fue de cizalla simple la simetría de los ángulos no se

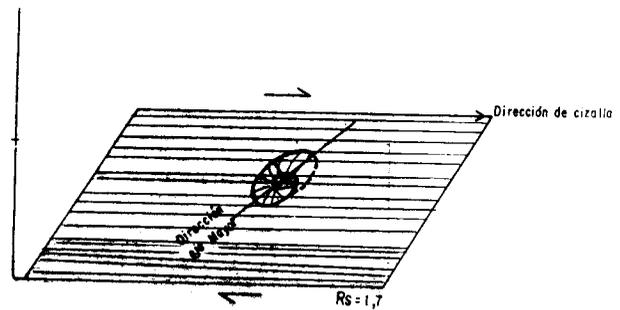


Figura N° 5 Deformación por cizalla simple en la máquina de brazos paralelos.

conservará. De acuerdo a la observación detallada de las amonitas, en este caso fig. 6, se determinó que la deformación fue la cizalla simple.

## CONCLUSIONES

La deformación interna del área fue de cizalla simple con una dirección N60W, con una elipse de deformación cuyo  $R_s = 1.77$  que implica una extensión y acortamiento máximos de 33 y 25% respectivamente, (mapa 1.)

## BIBLIOGRAFIA

- DAVIS, G. 1984. Structural Geology of rocks and regions. John Wiley & Sons, New York, USA.
- EDELMAN, Steven. 1989. Limitations of the concept of stress in structure analysis. Journal of geological education. V. 37. pp. 102-106.
- LISLE, Richard. 1989. Geological strain analysis. Pergamon Press.
- PARK, R. 1983. Foundation of structural geology. Blackie & Son.
- RAGAN, Donald. 1973. Structural Geology. John Wiley & Son. N. Y.

# Diaclasas\*\*.

## RESUMEN

*Como parte de este artículo sobre análisis de deformación y con una intención primordialmente didáctica se siguió uno de los métodos expuestos por DAVIS (1984) para el tratamiento de datos de orientación e inclinación en venas, diques y diaclasas.*

*La información proviene de las observaciones y mediciones realizadas por el autor a lo largo del carreteable que comunica a las poblaciones de Chemesquemena con Atánquez en el costado SE de la Sierra Nevada de Santa Marta.*

## INTRODUCCION

La roca encajante es un granito muy meteorizado y poco resistente perteneciente al batolito de Atánquez (TSCHANZ, 1970); y en él se distinguieron 3 tipos de estructuras: Diques, en general de composición máfica (basaltos y diabasas) con espesores entre 1 y 2 metros; Venas, casi siempre de composición félsica, textura fanerítica finocristalina, de colores claros con predominio de feldespatos y cuarzo; y diaclasamiento tanto en roca encajante como en diques.

## METODOLOGIA

Al iniciar el trabajo fue necesario precisar que en este caso el área de estudio es litológicamente homogénea y por lo tanto constituye un solo dominio estructural cruzado por un sistema de diaclasas; definido así el marco geológico se inició la recolección de la información

usando el método de selección DAVIS (1984); que consiste en restringir las medidas en cada afloramiento sólo a aquel o a aquellos grupos de diaclasas (y estructuras relacionadas a ellas) de igual apariencia y orientación que se presentan en forma dominante sobre las otras estructuras.

**TABLA 1.**

ESTRUC. DIRECC. INCLIN

Dique	N10E	50W
Vena	N38E	40E
Dia.	N42W	72E
Dia.	N38E	76W
Vena	N76E	75N
Vena	N82E	75N
Dique	N72W	80N
Dia.	N82E	74N
Dia.	N76W	88S
Dia.	N10W	80E
Dique	N-S	88E
Dique	N54E	80E
Dia.	N60E	60N
Vena	N20E	80W
Vena	N74E	81N
Vena	N54W	66S
Dia.	N78E	76N
Dia.	N72E	88S
Dia.	N54W	88S
Vena	N76E	78N
Dique	N48E	58S
Vena	N36W	80W
Vena	N68W	82N
Vena	N66E	68N
Vena	N76W	30N
Vena	N40E	30S
Vena	N80E	64N
Vena	E-W	32S
Vena	E-W	41S
Vena	E-W	50S
Vena	N54E	20S
Dia.	N42E	88S
Vena	N44W	32E
Dique	N18E	88E
Vena	N6E	38S
Dique	E-W	88S

En el tratamiento de la información recogida (Tabla 1) hay que tener en cuenta que si se quiere comprobar que las estructuras tienen una orientación preferencial, se debe elegir una proyección estereográfica que represente verdaderamente el grado de dispersión o de agrupamiento de los polos en toda el área de la plantilla. En la plantilla de Wulff las áreas centrales son más pequeñas que aquellas cercanas al borde, por esto, al plotear puntos en esta plantilla, ellos tienden a quedar agrupados hacia las zonas centrales dando una falsa idea de las orientaciones preferenciales de las estructuras.

En la plantilla de Schmidt las áreas se conservan iguales en toda su dimensión, lo que permite realizar sobre ella cálculos estadísticos válidos.

En la proyección estereográfica de los 37 polos en la plantilla de Schmidt (fig. 1), se observa un agrupamiento de polos con inclinaciones altas (70-80) y valores de dirección cercanos a la línea E-W. Para poder expresar esta orientación preferencial en términos de dirección e inclinación, es usado el diagrama de densidad de polos (fig. 2).

Para preparar este diagrama se requiere dividir el estereograma con una plantilla de trabajo (fig. 3) que tenga cuadros de lados iguales al radio de un círculo del 1% del área total del estereograma. Este círculo del 1% del área es el círculo de conteo (fig. 3a) que en el caso de tener que

realizar conteos en los bordes, debe cambiarse por un círculo de conteo periférico (fig. 3b) que garantiza que la medida de densidad se realice realmente en el 1% del área del estereograma. El número de puntos leído debe convertirse a porcentaje y colocarse sobre la planilla de trabajo para luego trazar las curvas de densidad.

Los resultados de densidad así obtenidos son sólo una representación gráfica de las orientaciones preferenciales, ya que los polos se cuentan más de una vez debido al traslape existente entre círculos de conteo adyacentes.

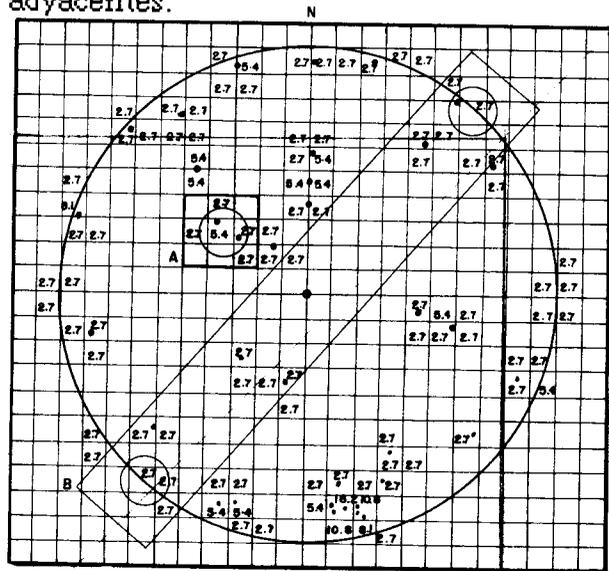


Figura N°3 Preparación del Diagrama de densidad de polos.

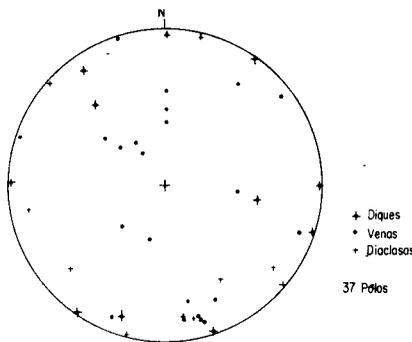


Figura N°1 Diagrama de polos Sierra Nevada de Santa Marta. Chemesquemena-Ataquez

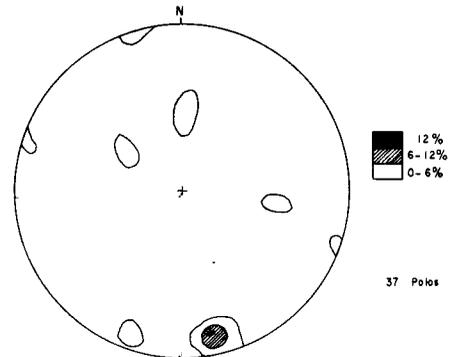


Figura N°2 Diagrama de densidad de Polos en porcentaje por el 1% del Área de la plantilla. Sierra Nevada de Santa Marta Chemesquemena-Ataquez

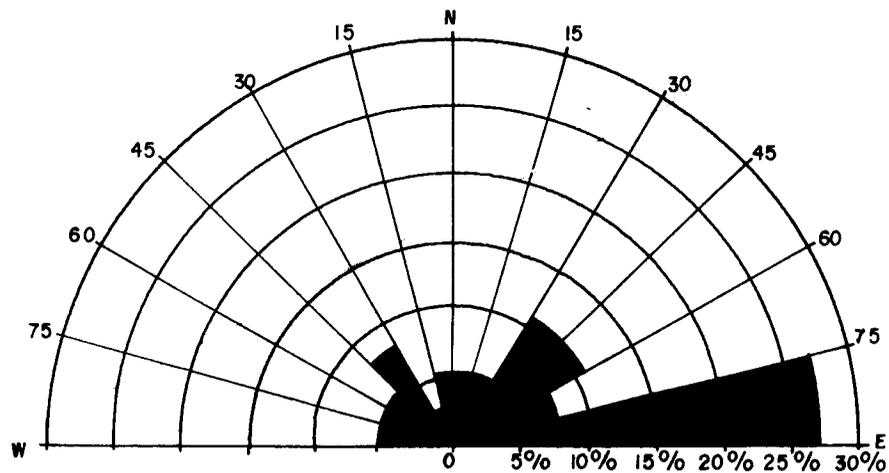


Figura N°4 Diagrama Rosa. Orientación de Diques, Venas y Diaclasas.

### CONCLUSIONES

La orientación preferencial promedio que presentan las estructuras medidas es, en dirección: N78E y en inclinación: 76N (fig. 2). En el diagrama rosa (Fig. 4), que sólo muestra orientaciones preferenciales de la dirección de las estructuras, hay un evidente sesgo hacia las direcciones entre N75E y E-W, sin embargo pueden presentarse ambigüedades en la interpretación si existen dos o más sistemas de diaclasas con el mismo rango de orientación pero diferente inclinación.

En el diagrama de polos (Fig. 1) puede verse algún grado de asociación entre la orientación de las venas y las diaclasas, pero ninguna relación de ellas con los diques. @Que quiere decir esta relación? Lo más probable, es que se trate de dos episodios tectónicos diferentes si además se tiene en cuenta que los diques siempre están cortando las venas evidenciando su posterior emplazamiento.

Por medio de un estudio detallado con volúmenes de información realmente significativos y la comparación de los resultados con patrones de diaclasamiento esperados en determinados ambientes tectónicos, podría proponerse un modelo de deformación que indique la dirección de los esfuerzos y la época (al menos relativa) en que ellos actuaron en esta zona. Y con un estudio regional, resolver problemas como la mecánica del emplazamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta.

### AGRADECIMIENTOS

Al compañero Daniel Castillo por sus comentarios y sugerencias para la redacción de éste artículo.

0

## **BIBLIOGRAFIA**

COMPTON, R. R. 1985. Geology in the field. John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

DAVIS, G. H. 1984. Structural Geology of rocks and regions. John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

TSCHANZ, C. N. et. al. 1970. Recursos minerales de la Sierra Nevada de Santa Marta. INGEMINAS. Vol. XVIII, N 1.