

CALCULO DEL ELIPSOIDE DE DEFORMACION EN UN METACONGLOMERADO DE LA FORMACION TECOMATE, AREA DE EL TECOMATE, ESTADO DE PUEBLA

*Fernando Ortega-Gutiérrez**

RESUMEN

Las mediciones axiales de 73 cantos graníticos dentro de un metaconglomerado de la Formación Tecomate paleozoica, permitieron la definición estadística (media armónica) del elipsoide de deformación, implicando un acortamiento lineal de los cantos a lo largo de Z (eje menor del elipsoide) de 65% y una elongación también lineal a lo largo de X (eje mayor) de 150%, mientras que a lo largo de Y (eje intermedio) sólo se produjo un estiramiento de 17%. El valor de K de Flinn obtenido (0.66) se ubica en el campo de los elipsoides aplastados, aunque cercano al tipo de los constreñidos.

No obstante la presencia de disolución por presión en los contactos de varios de los cantos, se asumió una deformación a volumen constante. Debido a esto y a la mayor ductibilidad de la matriz (la foliación es desviada alrededor de los cantos), los valores calculados deben considerarse mínimos en relación con la deformación total que afectó al metaconglomerado y a la unidad que lo contiene.

ABSTRACT

Axial strain measurements on 73 granitic pebbles within a metaconglomerate in the Paleozoic Tecomate Formation, allowed the statistical definition (harmonic mean) of a strain ellipsoid implying a linear shortening of 65% along the shortest axis (Z) and extension of 150% along X (longest axis), whereas the intermediate axis (Y) was extended only 17%. The Flinn value $K = 0.66$ lies in the field of flattened ellipsoids, but close to the constricted types.

Eventhough pressure-solution is present at several pebble contacts, constant volume deformation was assumed. Because of this and of the higher ductility of the matrix (foliation is deflected around the pebbles), the calculated values must be considered minimal in relation to the total deformation affecting the metaconglomerate and the unit that contains it.

INTRODUCCION

La evolución paleozoica del Complejo Acatlán, donde se encuentra la Formación Tecomate, se ha interpretado (Ortega-Gutiérrez, 1979) a la luz de los modernos conceptos sobre tectónica de placas a los que se asocian grandes desplazamientos horizontales de la litosfera, así como una intensa distorsión de las rocas de la corteza. Consecuentemente, en las últimas décadas se ha despertado un interés excepcional por el estudio de los procesos físicos y geológicos más relevantes para el avance de dichas teorías, particularmente dentro del campo del paleomagnetismo y la geología estructural cuantitativa.

La estructura del Complejo Acatlán muestra claras evidencias (Ortega-Gutiérrez, 1975) de múltiples épocas orogénicas, que se reflejan en los complicados estilos de plegamiento superpuesto. Una de estas evidencias se aprecia en los metaconglomerados de la Formación Tecomate, mencionados desde los estudios de Rodríguez-Torres (1970) y descritos posteriormente con cierto detalle en un trabajo del presente autor (Ortega-Gutiérrez, 1978, p. 123). En este trabajo se plantea como objetivo principal el lograr una primera estimación cuantitativa de la deformación local del Complejo Acatlán, basada en el cálculo del elipsoide de deformación, a partir de los cantos que integran el metacon-

glomerado de la Formación Tecomate en su localidad tipo (Figura 1). En segundo término, con este estudio se espera despertar un mayor interés en nuestro país sobre el análisis cuantitativo de esta clase de fenómenos tectónicos basados en la determinación del elipsoide de deformación, implícito en muchas de las estructuras que existen en rocas deformadas (Ramsay, 1967, p. 185-254; Hobbs *et al.*, 1976; Ragan, 1968, p. 38-48).

METODOS DE ESTUDIO

El presente trabajo se basó en la medición directa de 76 cantos de un solo afloramiento (Tabla 1) que se seleccionaron de la misma clase litológica (granítica) con el fin de eliminar factores de variación debidos a las propiedades mecánicas de las diferentes rocas. Los resultados óptimos en la medición de la deformación de metaconglomerados se obtienen con mayor facilidad y exactitud cuando:

1. La calidad de los afloramientos es buena.
2. Los cantos se encuentran densamente distribuidos en el conglomerado.
3. Las mediciones se hacen en una sola especie litológica de cantos.
4. Las mediciones se logran en tres superficies respectivamente paralelas a los planos principales de los cantos deformados y con un mínimo de 50 determinaciones (Dunnet, 1969) en cada plano.

*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

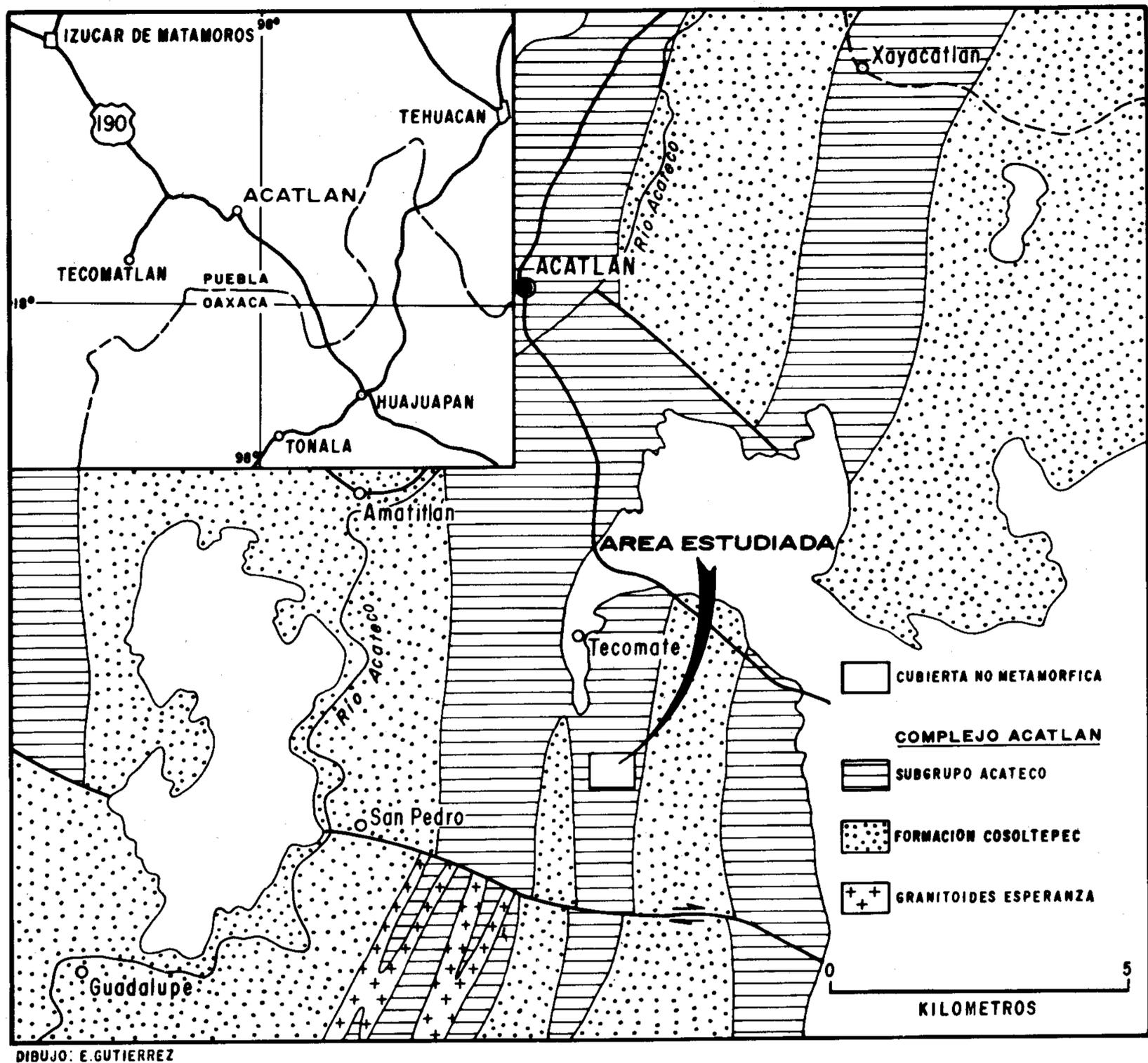


Figura 1.- Mapa de localización y geología simplificada del área estudiada.

5. El estudio se lleva a cabo en afloramientos cuya deformación es homogénea, es decir, donde no existan anomalías locales en la deformación, tales como zonas de cizalleo o trituración excesiva.

Otros factores tales como la orientación inicial de los cantos, los contrastes de viscosidad entre éstos y el resto de los componentes del metaconglomerado, así como la influencia que ejerce el tamaño absoluto y la variabilidad morfológica de los cantos en la deformación, son de más difícil evaluación, por lo que no se consideran en el presente estudio dado su carácter preliminar.

Se puede decir, sin embargo, que con excepción del cuarto punto, las demás condiciones se observaron en esta investigación; lo que permite considerar que de manera general los resultados obtenidos son válidos para dar una idea aproximada de la magnitud de la deformación que afectó a los cantos del metaconglomerado en la localidad mencionada.

Con el fin de dejar clara la simbología utilizada, para la descripción de los elipsoides finales (cantos), las letras A,

B y C se refieren respectivamente a los ejes mayor, intermedio y menor, mientras que las letras X, Y y Z a estos mismos ejes pero pertenecientes al elipsoide de deformación, el cual se calculará estadísticamente a partir de los cantos.

De los 76 cantos medidos, 73 lo fueron en sus planos principales AC y BC, aproximadamente perpendiculares a la foliación regional que en esta localidad tiene una dirección de 20° al NE y una inclinación de 76° al oriente. Las tres medidas restantes se hicieron en una sección AB subparalela a la foliación local, pero no se tomaron en cuenta para el cálculo de la deformación debido a su escasa significación estadística.

Con el fin de compararlos mutuamente, los cálculos del elipsoide de deformación (XYZ) se hicieron gráficamente (Figura 2) y utilizando diferentes técnicas estadísticas en términos de las razones axiales de los cantos, pero sólo la media armónica (H) se tomó en cuenta para la estimación cuantitativa del acortamiento y la elongación sufridos por los cantos del conglomerado. Los métodos y fórmulas empleados para el cálculo de los parámetros estadísticos que

presenta la Tabla 2 son de carácter general (i. e., Arkin y Colton, 1967, p. 11-36).

Tabla 1.- Dimensiones axiales medidas en los planos principales BC y AC de los 73 cantos.

PLANO PRINCIPAL B C					
CANTO	ANCHO (cms)	LARGO (cms)	CANTO	ANCHO (cms)	LARGO (cms)
1	11.5	33.0	26	1.0	3.2
2	6.0	23.0	27	1.8	4.4
3	4.0	11.0	28	2.0	5.0
4	4.5	17.0	29	1.0	3.0
5	2.0	6.5	30	1.0	3.8
6	7.0	35.0	31	2.0	9.0
7	2.0	7.0	32	8.0	17.5
8	4.5	11.0	33	3.5	13.5
9	2.0	6.0	34	3.0	12.0
10	6.0	16.5	35	5.5	22.0
11	6.0	17.0	36	2.5	8.0
12	2.8	6.0	37	1.5	4.5
13	3.2	10.0	38	2.1	4.5
14	2.5	9.0	39	3.5	6.0
15	6.0	9.0	40	2.5	6.0
16	2.1	7.0	41	4.0	7.7
17	3.0	9.0	42	4.0	8.0
18	4.0	8.5	43	3.8	10.0
19	2.0	10.0	44	1.8	5.0
20	1.5	4.0	45	1.8	5.5
21	1.0	3.0	46	2.5	8.5
22	4.5	8.5	47	3.0	7.2
23	2.0	5.0	48	3.0	9.0
24	1.6	5.0	49	5.0	9.0
25	5.0	20.0	50	2.0	6.5

PLANO PRINCIPAL A C					
1	2.0	11.0	13	4.0	15.0
2	2.0	21.0	14	2.5	20.0
3	3.0	30.0	15	4.5	19.0
4	1.0	5.0	16	3.0	20.0
5	1.5	9.0	17	2.5	10.0
6	2.5	12.0	18	4.0	15.0
7	3.0	22.0	19	1.5	14.0
8	6.0	39.0	20	5.0	46.0
9	2.5	32.0	21	5.0	37.0
10	3.5	28.0	22	8.0	43.0
11	2.0	15.0			
12	3.0	16.0	23	4.5	20.0

Tabla 2.- Parámetros estadísticos que describen el elipsoide de deformación, calculado en función de las dimensiones axiales de los cantos.

RELACION	X	G	H	M	m	S
Y/Z	2.99	2.88	2.78	3.0	3.2	0.79
X/Z	6.76	6.37	6.02	6.25	7.01	2.36
X/Y	2.26	2.21	2.17	2.08	2.19	
K	0.63	0.64	0.66	0.54	0.54	

X = Media aritmética

G = Media geométrica

H = Media armónica

M = Mediana, m = modo

S = Desviación estándar
(respecto de X)

K = Parámetro de Flinn

MARCO GEOLOGICO

El metaconglomerado de la Formación Tecomate es-

tudiado se ubica 2.5 km directamente al sur de la ranchería El Tecomate (Figura 1), sobre el arroyo de El Frijolar. La Formación Tecomate se encuentra discordante pero interplegada dentro de rocas milonitizadas de composición básica y granítica pertenecientes a las formaciones Xayacatlán y Esperanza del Complejo Acatlán.

La Formación Tecomate consiste aquí de una secuencia débilmente metamorfoseada de pizarra calcárea, pelita gris, pizarras negras y verdosas, psamita cuarzosa, algo de metacaliza y un intervalo de 100 m de anchura del metaconglomerado objeto de este artículo. El contacto con las rocas de los Granitoides Esperanza es abrupto y paralelo a la foliación regional, y representa una discontinuidad estructural, ya que la intensa milonitización de las rocas graníticas no se manifiesta en la Formación Tecomate, cuyas rocas psamíticas inmeditas al contacto conservan parcialmente su carácter clástico original, mientras que las rocas pelíticas y semipelíticas asociadas solamente se encuentran

plegadas y foliadas. El estilo estructural de la Formación Tecomate muestra un mínimo de tres generaciones sucesivas de deformación, la última de las cuales define pliegues locales con buzamiento subvertical y perfil de abierto a cerrado, con una dirección axial al SE. La deformación de los cantos del metaconglomerado representa únicamente la suma o superposición de las dos primeras fases de plegamiento, a las cuales se asocia la foliación compuesta presente en la roca.

La comprensión incompleta que se tiene de la constitución estructural a mayor escala de la región de El Tecomate, impide establecer una relación geométrica adecuada entre el elipsoide de deformación calculado y la posición de los afloramientos dentro de pliegues mayores. A pesar de ello esta cuantificación de la deformación, si se quiere aislada, podrá más tarde integrarse a estudios detallados en proceso, tendientes a descifrar no sólo la magnitud regional de la deformación del Complejo Acatlán, sino la naturaleza del proceso físico que la produjo.

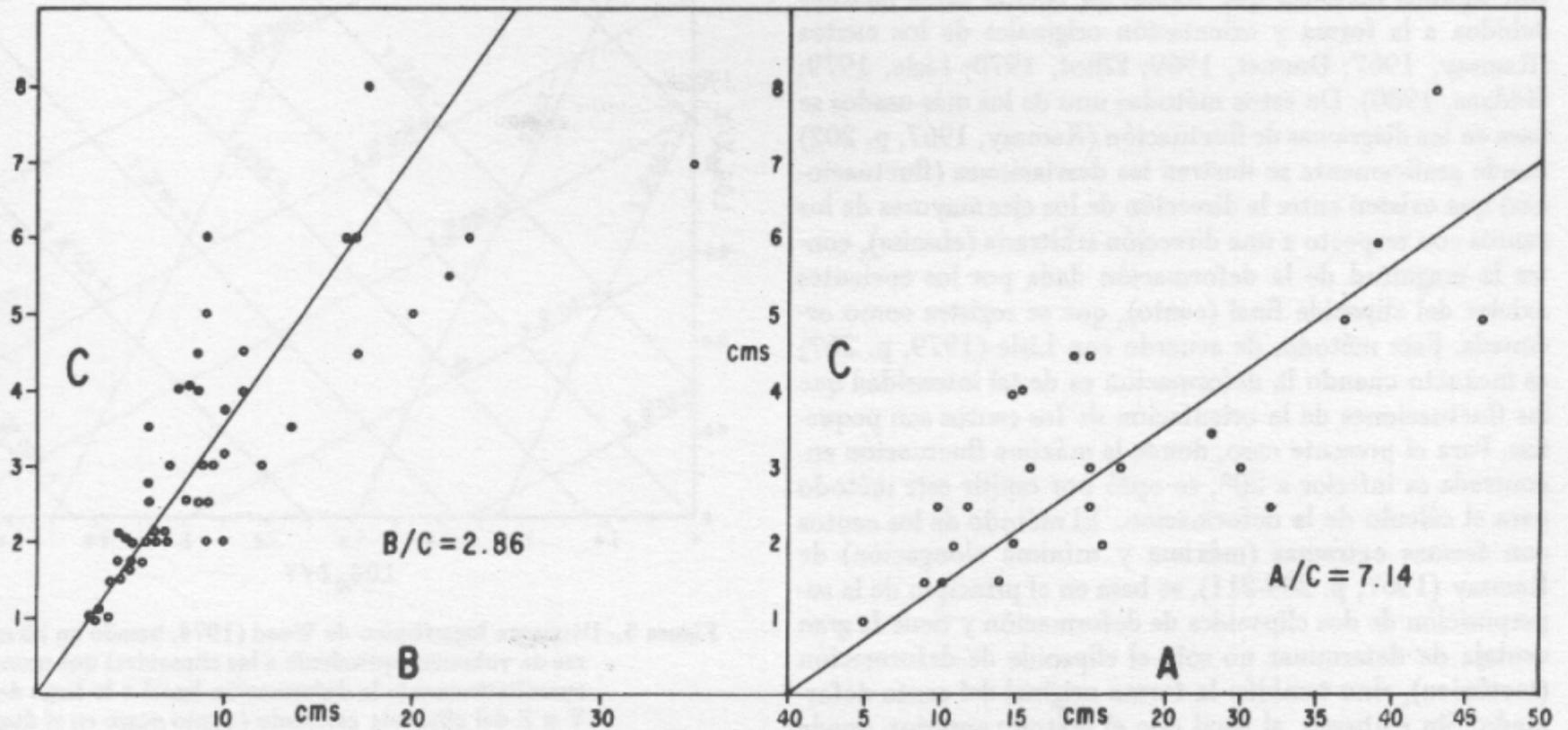


Figura 2.- Gráfica de las relaciones axiales B/C y A/C de los 73 cantos medidos. La pendiente de la línea en cada caso se estimó visualmente.

Metaconglomerado.- Los afloramientos estudiados aparentemente se encuentran situados en la zona axial de un pliegue regional (Figura 1) en donde los cantos fueron estirados paralelamente a una lineación regional ligeramente buzante al norte y aplastados en la foliación. El metaconglomerado consiste (Figuras 3 y 4) en cantos de granito de grano medio a grueso, pórfido de cuarzo y metarriolita de color verdoso en proporciones aproximadamente iguales; se observan además escasos y pequeños cantos de cuarcita.

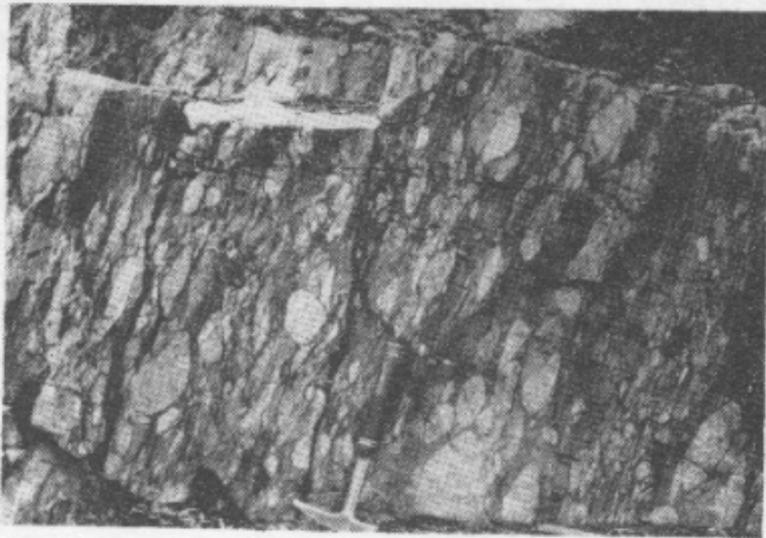


Figura 3.- Vista del metaconglomerado de la Formación Tecomate mostrando las superficies BC de los cantos en una sección aproximadamente normal a la foliación. Nótese la relación alta de cantos/matriz del afloramiento.

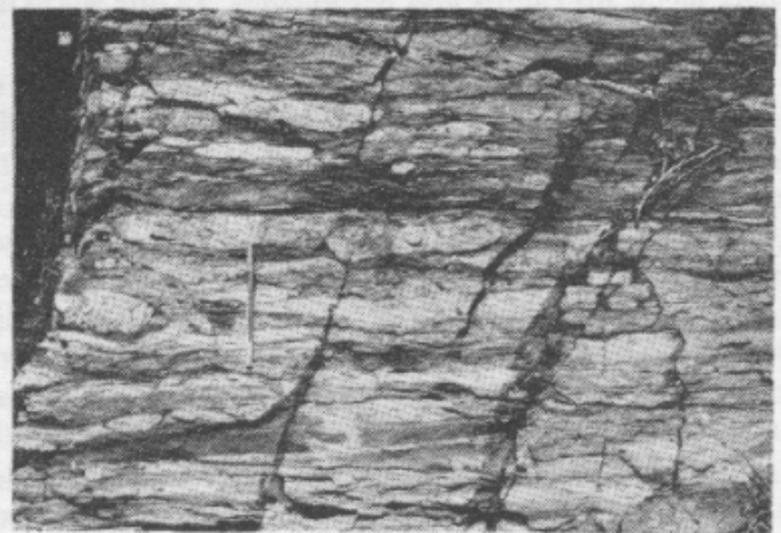


Figura 4.- Vista del metaconglomerado mostrando los planos principales AC de los cantos en una superficie subhorizontal y perpendicular a la foliación.

Próximo a las unidades calcáreas, el metaconglomerado contiene cantos (o pseudocantos) extremadamente angostos y alargados de composición calcárea, mientras que los elementos graníticos se vuelven raros y predominan los cantos de psamita cuarzosa. La matriz es arcósica y la relación de clastos/matriz varía desde casi cero hasta 0.5-0.6. El tamaño de los cantos también es variable, desde pequeñas gravas hasta algunos con 40 cm en su dimensión mayor. En general los cantos de granito son los más grandes y los que se encuen-

tran menos deformados, obviamente debido a su mayor competencia en relación con la matriz en que se encuentran.

CALCULO DE LA DEFORMACION

Debido a que los cantos originales de un conglomerado generalmente no son esféricos y que pueden tener una orientación preferente inicial (imbricación), el cálculo de su deformación no es simple, pero se cuenta en la actualidad con algunos métodos que toman en cuenta estos factores debidos a la forma y orientación originales de los cantos (Ramsay, 1967; Dunnet, 1969; Elliot, 1970; Lisle, 1979; Siddans, 1980). De estos métodos uno de los más usados se basa en los diagramas de fluctuación (Ramsay, 1967, p. 202) donde gráficamente se ilustran las desviaciones (fluctuaciones) que existen entre la dirección de los ejes mayores de los cantos con respecto a una dirección arbitraria (abscisa), contra la magnitud de la deformación dada por los cocientes axiales del elipsoide final (canto), que se registra como ordenada. Este método, de acuerdo con Lisle (1979, p. 267) es inexacto cuando la deformación es de tal intensidad que las fluctuaciones de la orientación de los cantos son pequeñas. Para el presente caso, donde la máxima fluctuación encontrada es inferior a 20° , se optó por omitir este método para el cálculo de la deformación. El método de los cantos con formas extremas (máxima y mínima elongación) de Ramsay (1967, p. 209-211), se basa en el principio de la superposición de dos elipsoides de deformación y tiene la gran ventaja de determinar no sólo el elipsoide de deformación (tectónico), sino también la forma original del canto deformado. Sin embargo, al igual que el método anterior, puede ser inexacto cuando la deformación es muy intensa, debido a la dificultad para localizar los cantos con formas extremas y para medir los cantos más deformados, ya que sus extremos suelen desvanecerse gradualmente en la matriz.

Por estas razones y dado el carácter preliminar del estudio, se consideraron adecuados aquellos métodos basados en el cálculo estadístico de las medias aritmética, geométrica y armónica aplicados a las razones axiales B/C, A/C y A/B obtenidas por medición directa de los cantos. De acuerdo con Lisle (1979), la media armónica a menudo se aproxima más como medida real de la deformación tectónica (elipsoide de deformación), y considera (p. 287) que el error porcentual en que se incurre cuando se ignora la forma inicial de los cantos y la fluctuación de su orientación es inferior a los 25% ; es mucho menor que 5% . La Tabla 2 resume diferentes parámetros estadísticos calculados para el metaconglomerado de la Formación Tecomate, pudiéndose observar que las diferencias entre ellos pueden ser importantes y que la media armónica toma el valor menor.

Considerando a la media armónica como el valor más adecuado para la descripción del elipsoide de deformación, y si se asume que la deformación se llevó a cabo a volumen constante, se puede utilizar el diagrama de Wood (1974, p. 374) para obtener los valores lineales del acortamiento y la elongación principales implícitos en el elipsoide de deformación calculado (Figura 5). Estos valores son de 65% y 150% respectivamente. En cambio, la deformación a lo largo del eje intermedio (Y) se manifiesta como un ligero estiramiento de 17% . La razón axial X/Y necesaria para estos cálculos y que no se pudo obtener en forma directa por

falta de exposiciones suficientes del metaconglomerado mostrando el plano AB de sus cantos, se calculó directamente de la relación $(X/Z)/(Y/Z)=X/Y$.

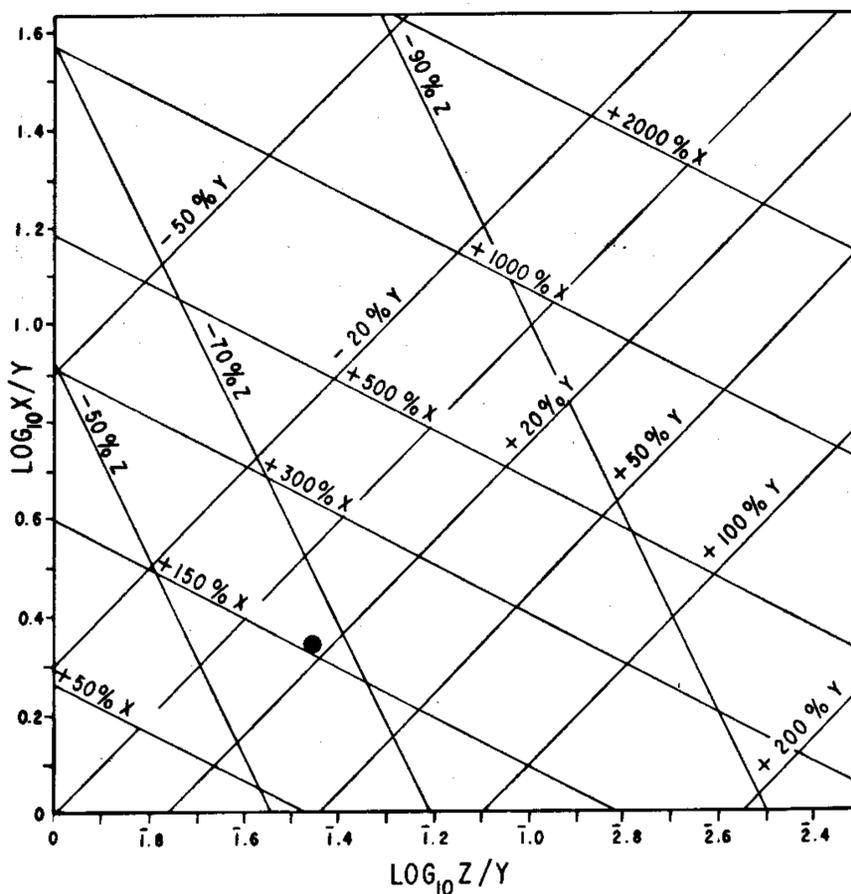


Figura 5.- Diagrama logarítmico de Wood (1974, basado en las esferas de volumen equivalente a los elipsoides) que muestra cuantitativamente la deformación lineal a lo largo de X, Y y Z del elipsoide calculado (punto negro en el diagrama).

Flinn (1962) reconoce cinco tipos de elipsoide para describir la naturaleza de la deformación, destacando entre ellos los constreñidos, aplastados y de deformación planar, según que su valor K dado por el cociente $(a - 1)/(b - 1)$ donde $a = X/Y$ y $b = Y/Z$, sea mayor que 1, menor que 1, o igual a 1. La K del elipsoide de deformación obtenido para el metaconglomerado de la Formación Tecomate es de 0.66, por lo que corresponde, asumiendo también una deformación a volumen constante, al tipo de los aplastados, aunque próximo a la línea de transición ($K = 1$) con los constreñidos (Figura 6). La presencia de fenómenos de disolución por presión observada en algunos contactos entre los cantos implica, empero, ciertas pérdidas de volumen asociadas con la deformación, que hacen que ésta se aproxime más al campo de los elipsoides constreñidos. Es necesario señalar también que la deflexión de la foliación alrededor de los cantos (Figura 7) significa que la deformación sufrida por estos últimos es considerablemente menor que la que afectó a la matriz y a la totalidad del metaconglomerado. Los porcentajes de acortamiento y estiramiento calculados, en consecuencia, deben considerarse valores mínimos para la deformación sufrida por la Formación Tecomate en esta localidad.

CONCLUSIONES

La deformación, marcada cuantitativamente en los cantos de la Formación Tecomate, implica fenómenos importantes de contracción y estiramiento corticales asociados

con la deformación tectónica del Complejo Acatlán durante el Paleozoico. Es claro que el estudio de una sola localidad impide cuantificar regionalmente esta deformación, pero sí da una idea precisa de la gran intensidad de estos fenómenos, ya que los valores obtenidos son los mínimos, y sin embargo los cantos fueron alargados más que duplicando su longitud original y aplastados hasta reducirse a menos de la mitad su espesor original.

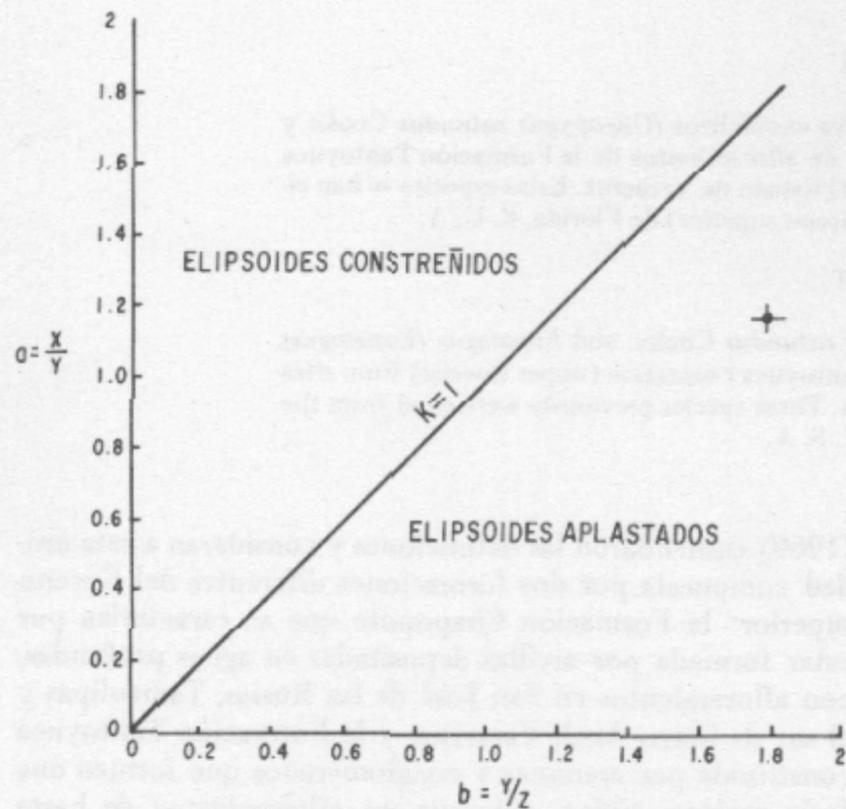


Figura 6.- Diagrama de Flinn mostrando la posición en el campo de los aplastados al elipsoide de deformación calculado.



Figura 7.- Cantos del metaconglomerado desviando la foliación en su periferia, lo que demuestra contrastes significativos de la viscosidad (mayor en los cantos y menor en la matriz) en el material deformado.

El Complejo Acatlán contiene en diversas localidades metaconglomerados semejantes a los descritos los que, junto con otros índices geológicos de la deformación como sus granates rotacionales, amígdalas y variolas deformadas, boudinage, pliegues ptigmáticos, etc., pueden ser de gran ayuda para la medición sistemática y regional de la deformación

asociada con la evolución profunda de una faja orogénica como la que indudablemente representa el Complejo Acatlán.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud al Dr. Max Suter, Investigador Visitante del Instituto de Geología, por la revisión profundamente crítica que hizo al manuscrito original detectando algunos errores de cálculo y, con sus sugerencias, mejorándolo sustancialmente. Igualmente, agradezco al M. en C. Rolando de la Lata la revisión del manuscrito y sus sugerencias para darle una mayor claridad en varios de sus aspectos formales, pero sin que nada de esto exculpe al presente autor por las deficiencias que aún presente el trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arkin, H., y Colton, R.R., 1963, *Statistical methods*: New York, Barnes and Noble, 226 p.
- Dunnet, D., 1969, A technique of finite strain analysis using elliptical particles: *Tectonophysics*, v. 7, p. 117-136.
- Elliot, D., 1970, Determination of finite strain and initial shape from deformed elliptical objects: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 81, p. 2221-2236.
- Flinn, D., 1962, On folding during three dimensional progressive deformation: *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, v. 117, p. 385-433.
- Hobbs, B. E., Means, W. D., y Williams, P. F., 1976, *An outline of structural geology*: New York, John Wiley, 571 p.
- Lisle, R. J., 1979, *Strain analysis using deformed pebble shape*: *Tectonophysics*, v. 60, p. 263-277.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1975, *The pre-Mesozoic geology of the Acatlán area, south Mexico*: Leeds, Inglaterra, Univ. Leeds, disertación doctoral, 166 p. (inédita).
- 1978, *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 2, p. 112-131.
- 1979, *The tectonothermic evolution of the Paleozoic Acatlán Complex of southern Mexico*: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 11, n. 7, p. 490.
- Ragan, D. M., 1968, *Structural geology, an introduction to geometrical techniques*: New York, John Wiley, 208 p.
- Ramsay, J. G., 1967, *Folding and fracturing of rocks*: New York, McGraw-Hill, 568 p.
- Rodríguez-Torres, Rafael, 1970, *Geología metamórfica del área de Acatlán, Estado de Puebla: México, D. F.*, Soc. Geol. Mexicana, Libro-guía de la Excursión México-Oaxaca, p. 51-54.
- Siddans, A. W. B., 1980, Analysis of three-dimensional, homogeneous, finite strain using ellipsoidal objects: *Tectonophysics*, v. 64, p. 1-16.
- Wood, D. S., 1974, Current views of the development of slaty cleavage: *Annual Rev. Earth and Planet. Sci.*, v. 2, p. 369-401.