

## **EL SISTEMA DE FALLAS INCAPUQUIO: DINAMICA Y RELACION CON EL MAGMATISMO REGION OMATE – MOQUEGUA SUR DEL PERÚ**

Rubén Mamani<sup>1</sup> William Martinez<sup>2</sup> y Agapito Sanchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mining Perú LLC Prolongación Ayacucho 936 S an Miguel Lima Perú, Teléfono: 2638212 [hmamani@miningperu.com](mailto:hmamani@miningperu.com),

<sup>2</sup>Desafío Minero S.A.C. Avda. Javier Prado Este N° 3580 San Borja Lima Perú Teléfono: 6181000  
[wmartinez@demsac.com.pe](mailto:wmartinez@demsac.com.pe)

<sup>3</sup>Anglo Peruana Terra S.A. Monte Grande 129, Surco, Lima Perú  
[agapito.sanchez@apt.com.pe](mailto:agapito.sanchez@apt.com.pe)

### **INTRODUCCION**

En los terrenos de la vertiente pacífica de la Cordillera Occidental del sur del Perú, destacan rocas plutónicas, intrusivas y volcánicas del Cretáceo Paleógeno y Neógeno que yacen sobre un basamento Precámbrico-Paleozoico y rocas sedimentarias mesozoicas. Asimismo, en esta parte se encuentran los principales pórfidos de cobre, asociados con El Sistema de fallas Incapuquio de extensión regional. El propósito de este trabajo es establecer si existe relación entre la dinámica de este sistema de fallas y el magmatismo en el área Omate-Moquegua. Para ello se realizaron observaciones estratigráficas, microtectónicas así como reinterpretación de informaciones publicadas, a la vez que se ha tratado de caracterizar el magmatismo y establecer la evolución del sistema de fallas Incapuquio, en relación con sistemas transcurrentes transpresivos y transtensivos a partir del Cretáceo Inferior.

### **MARCO GEOLOGICO REGIONAL**

El área examinada se encuentra en la Cordillera Occidental del sur del Perú y su flanco occidental. El basamento metamórfico y unidades paleozoicas afloran localmente, también se tienen ocurrencias alineadas del Grupo Yura y otras unidades sedimentarias del Cretáceo.

Sobre dichas unidades se encuentran las secuencias de flujos de lavas andesíticas basálticas gris oscuras afaníticas de la Formación Matalaque que infrayace al Grupo Toquepala Cretáceo Superior (100-63 M.a., Boyle, 1990) constituido por tobas soldadas bien estratificadas, sobreyacidas por secuencias de flujos de lavas riolíticas porfídicas rosadas, que infrayacen en discordancia erosional a secuencias de lavas andesíticas porfídicas de la Unidad Samanape del Eoceno, Zimmermann et. al. (1983). Asimismo estas unidades infrayacen a areniscas y limolitas rojas de la Formación Sotillo del Eoceno Superior, sobre la cual yace la Formación Moquegua del Oligoceno (C° Baul 25.3 +/- 0.8.). La Formación Huaylillas yace en conformidad a las secuencias cenozoicas mencionadas e infrayace a secuencias de tobas ricas en cristales de cuarzo y pómez junto con conglomerados y areniscas de la Formación Millo 12.5 +/- 0.6 Tosdal et. al. (1981). La cobertura cuaternaria del Pleistoceno conformada por facies conglomeraditas, depósitos aluviales y fluviales recubren los terrenos antiguos irregularmente.

### **MAGMATISMO**

El magma de la Súper Unidad Yarabamba se caracteriza por presentar una composición ácida de tipo calcoalcalino con una correlación positiva de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O; por lo que se tipifica como moderadamente evolucionado con presencia de diferenciación lateral representada por dioritas y el desarrollo de mayor fraccionamiento controlado por fallas litósfericas Micalaco denotándose a granodioritas y monzonitas en un nivel máximo de ascenso magmático (ver Fig. 4).

El espectro litogeoquímico para el ratio La/Yb del placolito Yarabamba presenta un rango de (9-15) lo que indicaría la interpretación de una corteza engrosada > 40 km y un mayor fraccionamiento y una varianza de SiO<sub>2</sub> del 65% en condiciones hidratadas de alta presión. El espectro litogeoquímico para el ratio de La/Yb del Grupo Toquepala, presenta un rango de (8-18) por lo que se interpreta una inversión proporcional del engrosamiento de la corteza > 40-50 km. en profundidad.

Se realizó ensayos petroquímicos de rocas frescas en los laboratorios de la Geological Survey Canada, por el método ICP-MS para 81 muestras (roca total). Por lo que se logró determinar *el estado de oxidación del magma* tanto para el Grupo Toquepala como para el placolito Yarabamba. Derivándonos un resultado de 0.3 – 0.8 visto en el cuadro según Blevin et. al. (1992). Tipifica el campo VSO relacionado a niveles de oxidación fuerte a muy fuerte, que sugiere la presencia de un magma de ambiente oxidante, propicio para emplazamientos subvolcánicos tipo PCD (Fig.1, Fig. 2). El estudio de los controles tectónicos y magmáticos se efectuó en el sistema de fallas Incapuquio que se extiende en un área de 140 km. de largo y 20 km. de ancho aproximadamente.

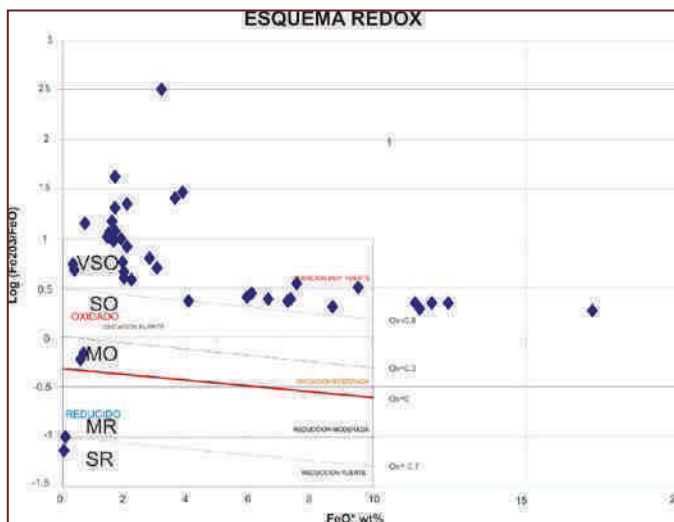


Fig. 1 Estado de Oxidación del Grupo Toquepala.

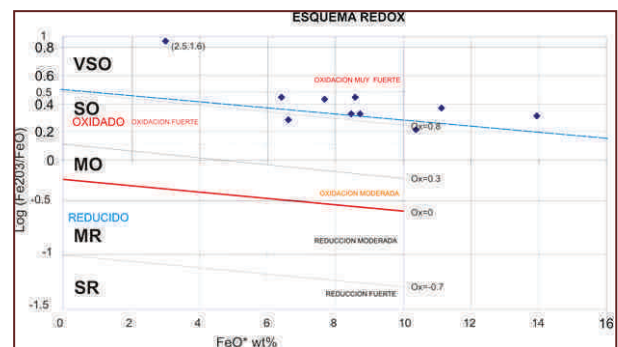


Fig. 2. Estado de Oxidación de la Súper Unidad Yarabamba.

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El estudio del Sistema de Fallas Incapuquio está enmarcado en el arco magmático del Cretáceo Superior, conformado en la base por secuencias de lavas y tobas de carácter andesítico y dacítico del Grupo Toquepala del Cretáceo Superior al Paleoceno; estas secuencias son intruídas por facies de dioritas gradando a monzonitas en su nivel de mayor engrosamiento cortical. Estos cuerpos intrusivos que conforman la Superunidad Yarabamba se emplazaron en forma de placolito durante el Cretáceo Superior. Estos cuerpos se emplazan en forma sin-magmática con el desarrollo estructural de rumbo paralelo a la falla Incapuquio (Fig. 4, sección B-B). El sistema de fallas Incapuquio tiene dos regímenes tectónicos bien marcados transpresivo para el sector Torata y Transtensivo entre el Sector LLoquene y Quellaveco (Fig. 3). El Sistema de Fallas Incapuquio está constituido por una zona de cizalla frágil en su configuración actual; presenta sin embargo en la zona de la traza de falla Incapuquio fallas de carácter dúctil en un ambiente de componente transtensivo (Estación LLoquene).

Interacción entre tectónica y procesos magmáticos a partir del manto, arco magmático el circuito del primer comentario describe la interacción dinámica entre los dos principales componentes de *sobrepresión de magma*, la inducción tectónica y fuerzas que indican flotabilidad (Blanquat et. al. 1998), ambos actúan para facilitar el movimiento de magma, el segundo comentario está relacionado a la cinemática. El magma es transferido y emplazado dentro del arco magmático para el Cretáceo Superior. Destacan tres eventos estructurales en el contexto regional:

### EVENTO PRE TOQUEPALA

En la sección B-B, se observa que la zona de falla Incapuquio de movimiento sinistral normal, controla la cuenca sedimentaria molásica de la Formación Moquegua del Oligoceno. En donde se observa el movimiento de estas fallas con un componente inverso; con respecto al Grupo Toquepala. De esta manera las secuencias basales del Grupo Toquepala suprayacen a las secuencias de la Formación Matalaque (Cretáceo Inferior) e incluso al arco Jurásico compuesto por la Formación Guaneros, lo que indicaría que es estructura de nivel translitosférico. Sin embargo, se colectó datos en la estación LLoquene con un vector de deslizamiento de N140°E y la estación Estuquiña con un vector de deslizamiento de N278°E, los cuales

llegan a definir dos comportamientos de régimen transpresivo hacia el Norte y transtensivo hacia el Sur dados en (Cuadro 1), lo que explicaría el comportamiento dúctil a frágil a partir de los niveles de emplazamiento presentes a causa de sobrepresión magmática. Sufriendo de esta manera un cambio de ambiente tectónico a partir del sector Tumilaca hacia el sur se generan fallas de movimientos de distensión para la configuración actual.

#### EVENTO SIN MAGMÁTICO

Los niveles de emplazamiento para el placolito Yarabamba son coetáneos con movimientos de rumbo de carácter transpresivo. Desarrollado con un plunge de proyección SE a NO. Desarrollando un cuerpo subhorizontal asimilando e incrementando los niveles de potasio por las múltiples intrusiones se integran los elementos compatibles e incrementa potasio en las secuencias basales del Grupo Toquepala (Fm. Huaracane). Estas estructuras presentan un comportamiento compresivo desarrollado en la parte septentrional del cuadrángulo de Moquegua tenemos cinco elementos estructurales que han originado la alimentación de actividad magmática cíclica para el Cretáceo Superior originando deformación en el proceso de emplazamiento:

1. A) Falla Incapuquio zona Norte presenta un componente Sinistral inverso transpresivo desarrollado en el Sector Torata.  
B) Falla Incapuquio zona Sur presenta un componente Sinistral normal transtensivo desarrollado en la Estación Lloquene.
2. Falla Micalaco zona de máximo engrosamiento cortical de arco magmático, de dirección NO-SE, falla inversa con vergencia hacia el este, esta estructura controla la zona de mayor fraccionamiento caracterizado por facies de granodiorita a monzonita.
3. Lineamiento Capilluni relacionado con una zona de dilatación dextral que es aprovechado por el ascenso de monzonitas en la Qda. Papujune (Fig 3).
4. Falla Asana, está caracterizado por presentarse en un marco tectónico de *Tras – Arco Mágmat*ico (Fig. 3. *Plano Tectonomagmático*).  
Relacionado a un régimen transtensivo desarrollado por un vector de deslizamiento de dirección N119°E Sector Asana, (Cuadro 1). Está zona de falla limita hacia el este con el Arco del Barroso (Caldera Tutupaca relacionado con actividad magmática Miocénica).
5. El sector Torata está afectado por un complejo de fallas inversas coalescentes con vergencia hacia el este limitando el engrosamiento de la corteza y que pone en contacto fallado secuencias de la Formación Paralake sobre la Formación Huaracane con un vector de deslizamiento de N280°E, asociado a un campo transpresivo tipo flor positiva observado en la estación (Cerro Mejia y Pocata).

#### EVENTO POST MAGMÁTICO

Los últimos movimientos de este sistema de fallas Incapuquio afecta a secuencias de la Formación Moquegua datados en el C° Baul asignándolo 25.3±0.8 Ma. que se asocia a un régimen transtensivo. Relacionado a movimientos de rumbo de componente sinistral normal formando así la configuración actual. Sin embargo, en la parte de borde oriental del cuadrángulo de Moquegua se observan secuencias de la Formación Huaylillas que infrayace en disconformidad a flujos del Grupo Barroso, por lo que se asocia a esfuerzos inversos de reacomodo del arco volcánico del Barroso (Mioceno - Plioceno); de carácter transtensivo de componente dextral normal.

#### RESULTADOS

El estudio de las estructuras frágiles fue enfocado a determinar la geometría y la cinemática de la deformación. Para ello, se determinaron tensores de esfuerzo locales, mediante el algoritmo de inversión de Carey-Galhardis-Mercier 1999. Teóricamente, se requiere un mínimo de cuatro fallas compatibles para definir el tensor de deformación.



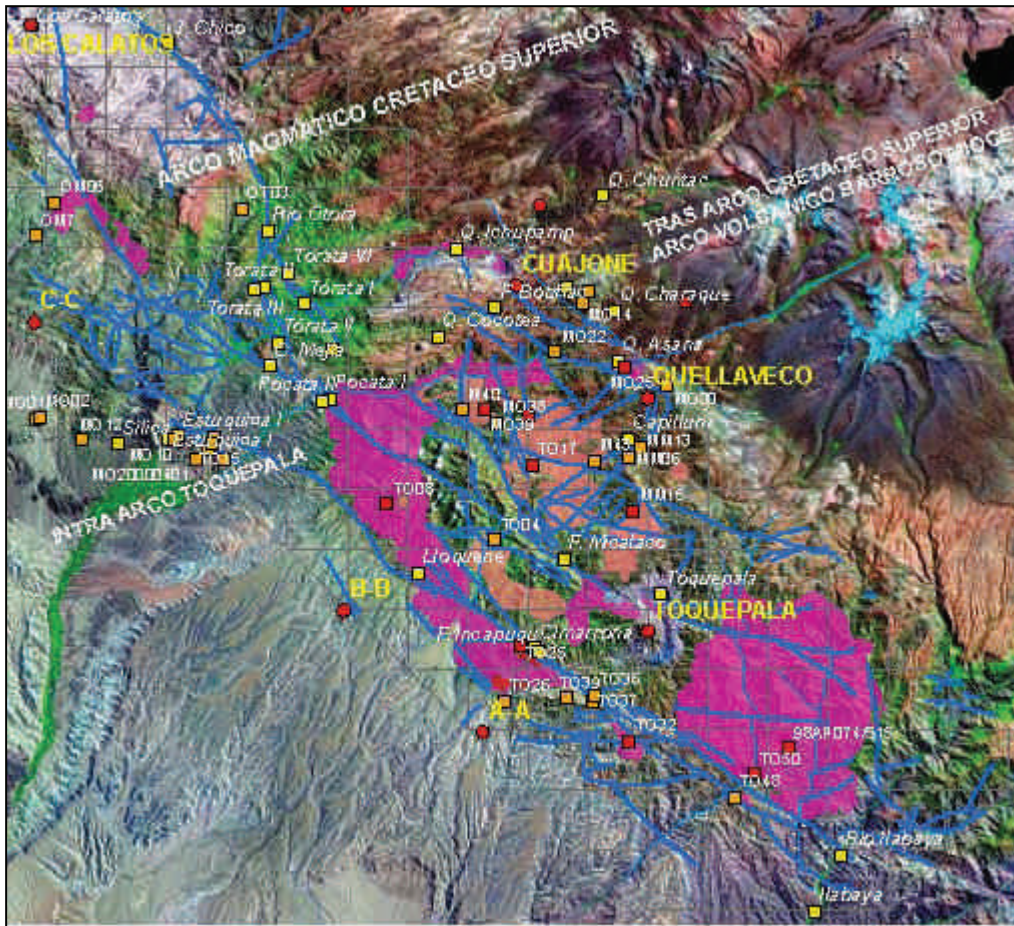


Fig. 3. Plano tectonomagmático del arco magmático del Cretáceo Superior (SFI).

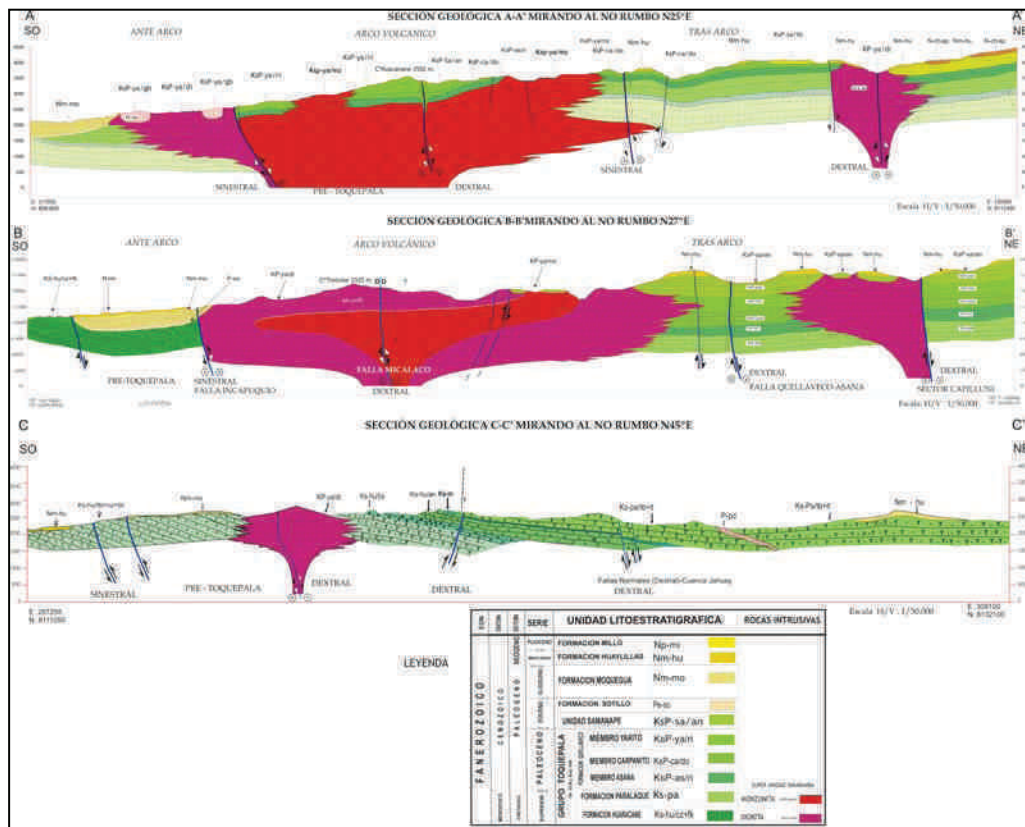


Fig. 4. Secciones geológicas en el arco magmático del Cretáceo Superior sur del Perú (SFI).

Se consideró un mínimo de 2 fallas independientes para definir un evento tectónico, así, de una población total de 332 *medidas fallas en 30 estaciones* (Fig.3). Siendo estas representadas por el análisis sensorial realizado por el software Faulkinwin 1.2.2. Para el análisis de fallas utilizaremos el Método de Focalización de Estrías (Pitch) Vergely et al. (1987)<sup>1</sup>.

Cuadro 1. Movimientos transpresivos y transtensivos en el SFL.

SECTOR	No.	ESTACION	VECTOR DE DESLIZAMIENTO			CLASE	COMPONENTE	REGIMEN	
			SIGMA	RUMBO	BUZAMIENTO			TECTONICO	
JAHUAY CHICO	1	Los Calatos	$\sigma_3$	N110°E	37°	Transcurrente	ID/ND	INVERSO DEXTRAL	TRANSPRESIVO
	2	J. Chico	$\sigma_3$	N309°E	15°	Transcurrente	ID		
TORATA I	14	Pocata I	$\sigma_2$	N143°E	26°	Nomal	ID	INVERSO DEXTRAL	TRANSPRESIVO
	15	Pocata II	$\sigma_1$	N180°E	23°	Transcurrente	ID/NS		
	10	C. Mejía	$\sigma_1$	N286°E	36°	Transcurrente	IS/ID		
	4	Torata I	$\sigma_3$	N153°E	01°	Transcurrente	IS/ND		
	5	Torata II	$\sigma_2$	N187°E	27°	Nomal	ID		
TORATA II	6	Torata III	$\sigma_1$	N29°E	22°	Transcurrente	NS/ID	INVERSA SINIESTRAL	TRANSPRESIVO
	7	Torata IV	$\sigma_1$	N121°E	2°	Inversa	NS		
	8	Torata V	$\sigma_2$	N125°E	10°	Inversa	IS/ND		
PRE TOQUEPALA	3	Rio O tora	$\sigma_2$	N218°E	20°	Nomal	NS/ID	INVERSA SINIESTRAL	TRANSPRESIVO
	11	Silica	$\sigma_2$	N200°E	22°	Nomal	IS		
	12	Estuquiña I	$\sigma_2$	N278°E	14°	Nomal	ID/ND		
CUAJONE	13	Estuquiña II	$\sigma_1$	N166°E	34°	Transcurrente	IS/ND	INVERSA DEXTRAL	TRANSPRESIVO
	18	Q. Ichupampa	$\sigma_2$	N128°E	17°	Inversa	ID		
	21	Q. Cocotea	$\sigma_2$	N200°E	8°	Nomal	DI/SN		
	25	F. Botiflaca	$\sigma_2$	N244°E	30°	Inversa	ND		
ASANA	24	Viña Blanca	$\sigma_1$	N182°E	9°	Transcurrente	ID/NS	NORMAL DEXTRAL	TRANSTENSIVO
	19	Q. Charaque	$\sigma_1$	N66°E	23°	Transcurrente	ID		
	20	Q. Asana	$\sigma_1$	N119°E	1°	Inversa	ND/IS		
F. MICALACO	23	Capilluni	$\sigma_3$	N164°E	24°	Transcurrente	NS	INVERSO DEXTRAL	TRANSPRESIVO
	26	Toquepala	$\sigma_2$	N344°E	21°	Inversa	ID		
F. INCAPUQUIO	27	F. Micalaco	$\sigma_1$	N149°E	13°	Inversa	ND/NS	SINIESTRAL NORMAL	TRANSTENSIVO
	16	Lloquene	$\sigma_2$	N140°E	14°	Nomal	NS/IS		
	28	F. Incapuquio	$\sigma_3$	N77°E	24°	Transcurrente	IS/NS		
ILABAYA	17	Cimarrona	$\sigma_2$	N310°E	37°	Nomal	S/ND	NORMAL SINIESTRAL	TRANSTENSIVO
	29	Ilabaya	$\sigma_1$	N108°E	19°	Inversa	ND/NS		
	30	Rio Ilabaya	$\sigma_2$	N42°E	12°	Inversa	IS/SN		

## REFERENCIAS

- Aldmendinger R.W. (2001). Programa de computo para fallas FaultkinWinFull v. 1.1.2.
- Blevin, P. L., and Chappell, B. W., 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia: Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sci., v. 83, p. 305-316.
- Blanquat, S.; Tikoff, B. & Dunlap, W. (1998) Cinematica Transpresional y Arcos Magmaticos. En: Geological Society Special Publication No. 135 the Geological Society London, p. 327-340.
- Carlotto, C. V. et al. (2004). Relación de la Cinemática de Placas con la Evolución de las Cuencas Sinorogénicas Terciarias de la Región Sur del Perú En: XII Congreso Peruano de Geología. Trabajos Científicos, Publicación Especial N° 6, p. 420 – 423.
- Husson, L. & Jacay, J. & Sempere, T. (2000). Cronología Estructural del Margen Sur del Perú. En: X Congreso Peruano de Geología, Soc. Geol. de Perú, V. Esp.1, Lima, p. 28.
- Machare, O. J. (2001) Geología Estructural en la Exploración, En: Soc. Geol. Perú, workshop 2001.
- Mercier, J. & Vergely, P.(1999) Tectónica, 259 pág.
- Pitcher, W. S. (1985). A Multiple and Composite Batholith En: Magmatism at a Plate Edge The Peruvian Andes, John Wiley and Sons Inc, New York, P. 93 – 101.
- Ragan, D.R. (1985) Structural Geology An Introduction to Geometrical techniques, 3ra edición.
- Streckeisen (1967) Petrogenesis, Wiley Sons, 235, Pág.
- Tavarnelli, E.& Holdsworth, R. E. (1999). How long do structures take to form in transpression zone A cautionary tale from California. En: Geology. V.27; no. 12; p. 1063-1066; 4 figures; 1 table.
- Vergely, P., et al. (1987) Analyse graphique des failles a l'aide des focalisation des stries. Bull. Soc. Geol. France, 3 (2), p. 395-402.

<sup>1</sup> En un estudio de las direcciones teóricas de deslizamiento asociadas a diversos regimenes de esfuerzo, Vergely (1987) constataron que la dirección de las estrías teóricas, que materializan dichos movimientos, sufre variaciones rápidas cerca de los planos principales (que contienen 2 componentes principales). Asimismo, que existe una concentración de estrías en uno o dos focos. Esta focalización ocurre sobre puntos que tienen una relación directa con las direcciones de los ejes de esfuerzo y con la forma del tensor.