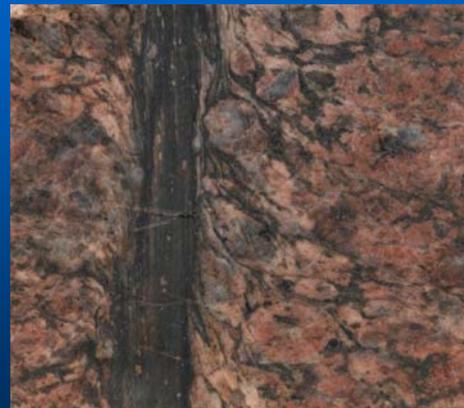




## Plan

1. Sistemas de falla frágiles.
2. Zonas de cizalla dúctiles.
3. Indicadores cinemáticos.
4. Modelos cinemáticos en 3D.



## Deformación heterogénea

- Deformación no está distribuida de forma homogénea.
- Padrón característico deformación heterogénea:
  - localización deformación en zonas planas tabulares (con un cierto ancho) que acomodan desplazamiento entre bloques de pared relativamente rígida.
- Zonas de alta deformación tabulares:
  - componente rotacional
  - reflejan desplazamiento de un segmento de muro respecto del otro.
- Este tipo de zona de alta deformación se conoce como zona de cizalla (Ramsay & Graham 1970).

06/06/2017

HM

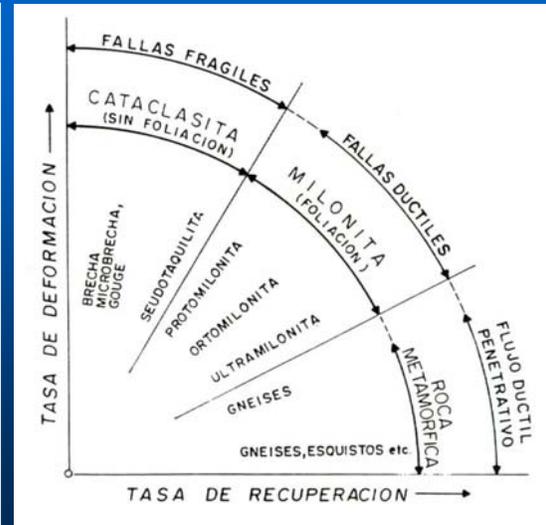
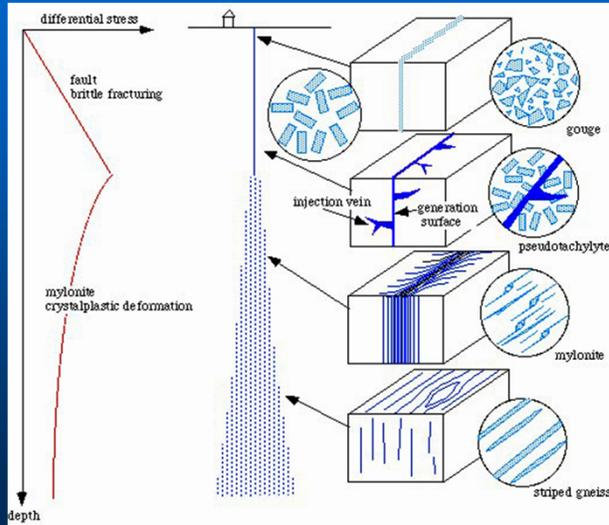
## Sistemas de falla vs. Zonas de cizalla

- Sistemas de falla frágiles no pueden desligarse de las zonas de cizalla dúctiles:
  - 2 expresiones diferentes del mismo fenómeno: Rasgamiento de litósfera en diferentes ambientes P-T-mecanismos de deformación.
- Sin embargo:
  - Deformación dúctil resulta en un enfoque completamente diferente.

06/06/2017

HM

## Zonas de cizalla y rocas de falla según profundidad

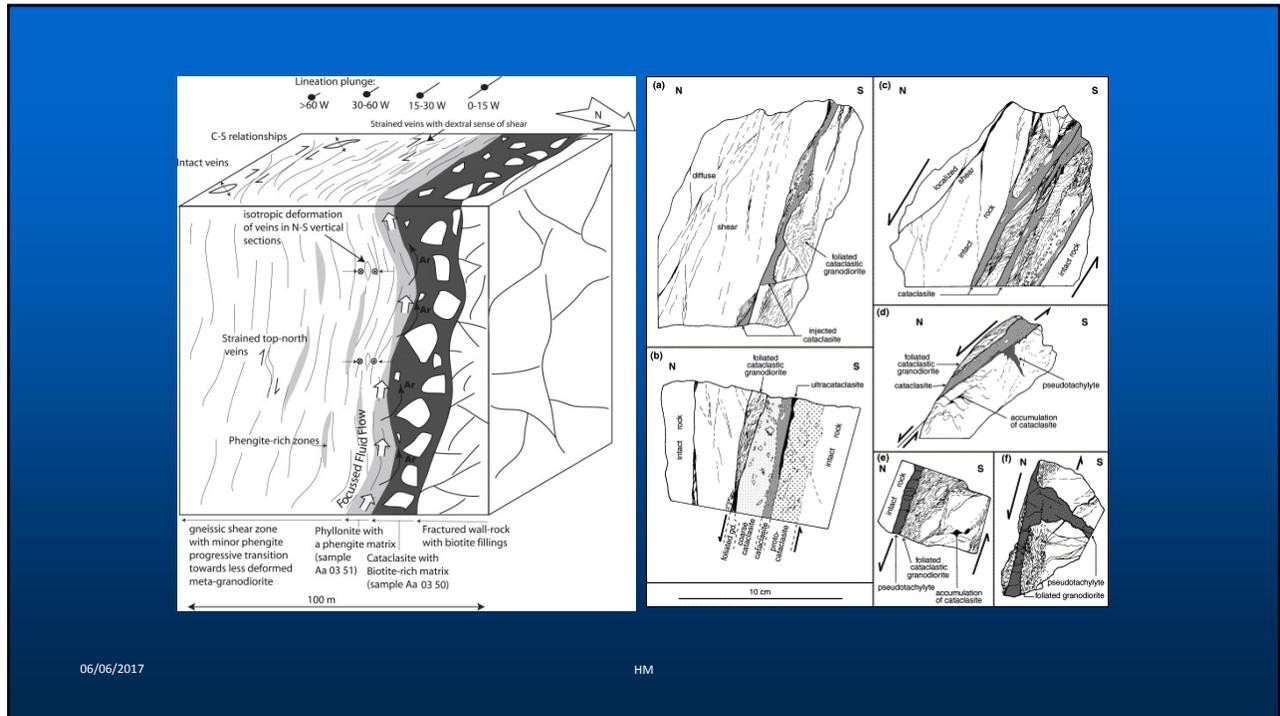


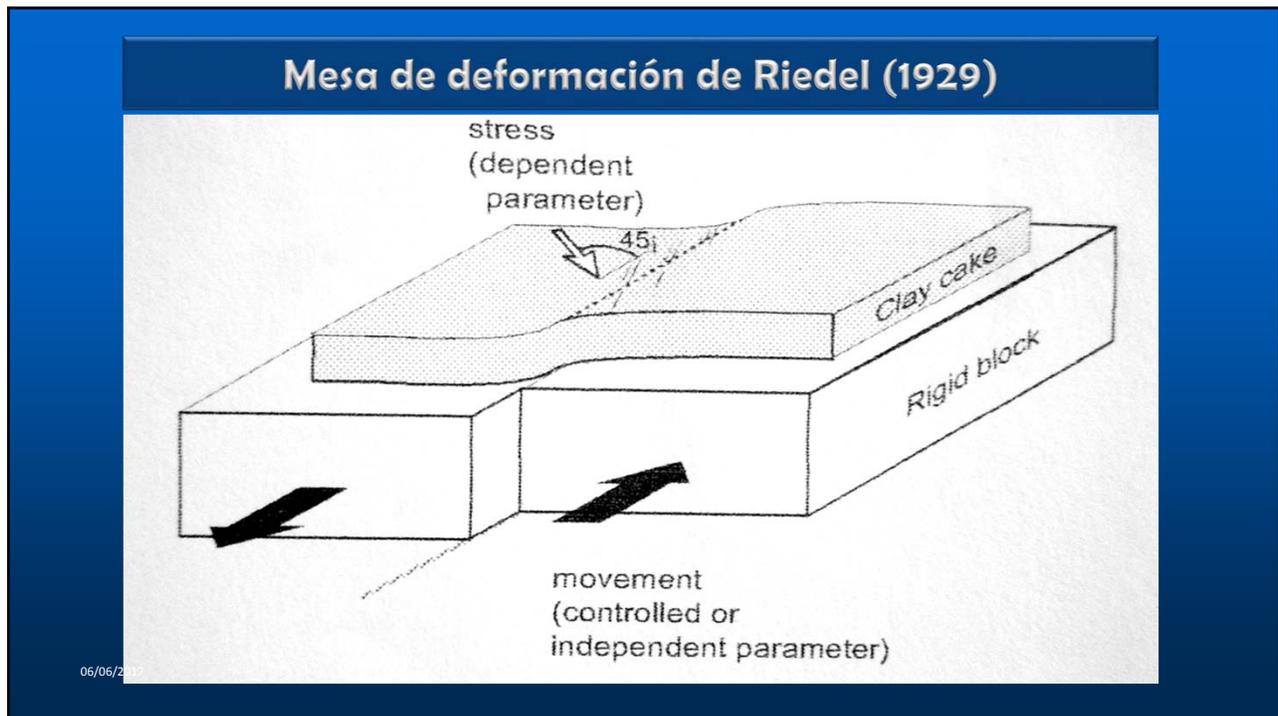
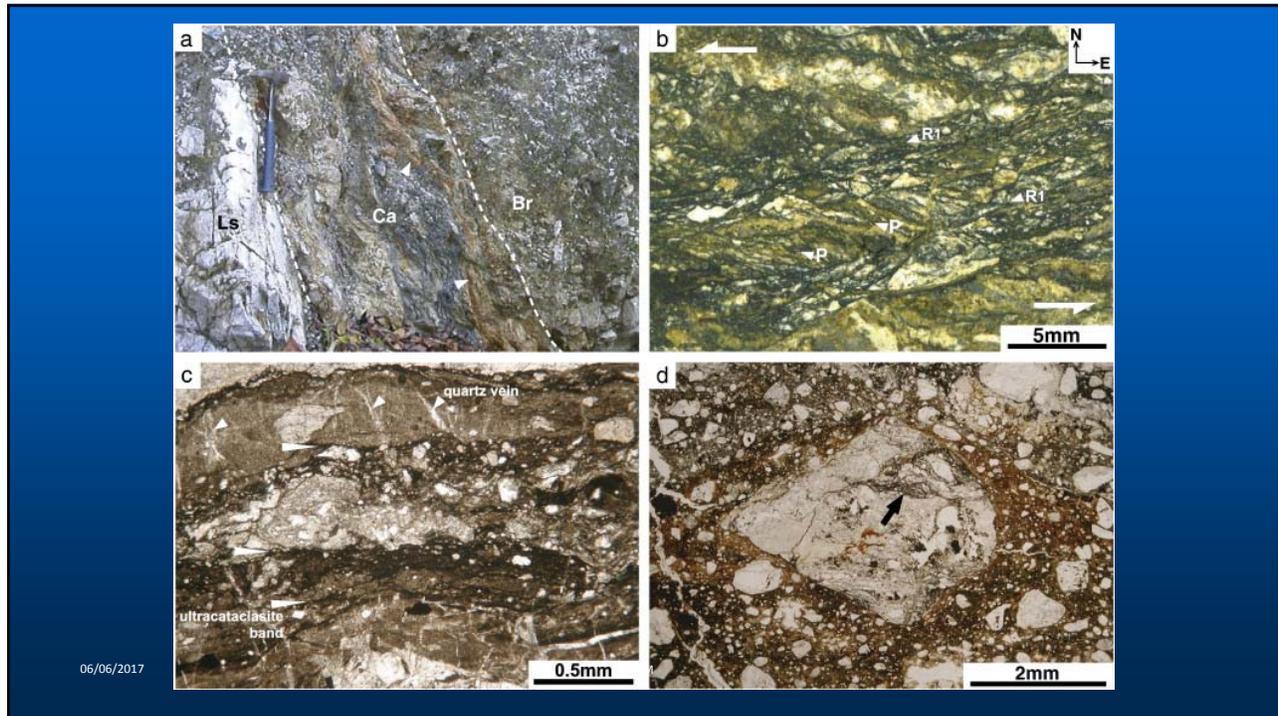
06/06/2017

## Sistemas de falla frágiles

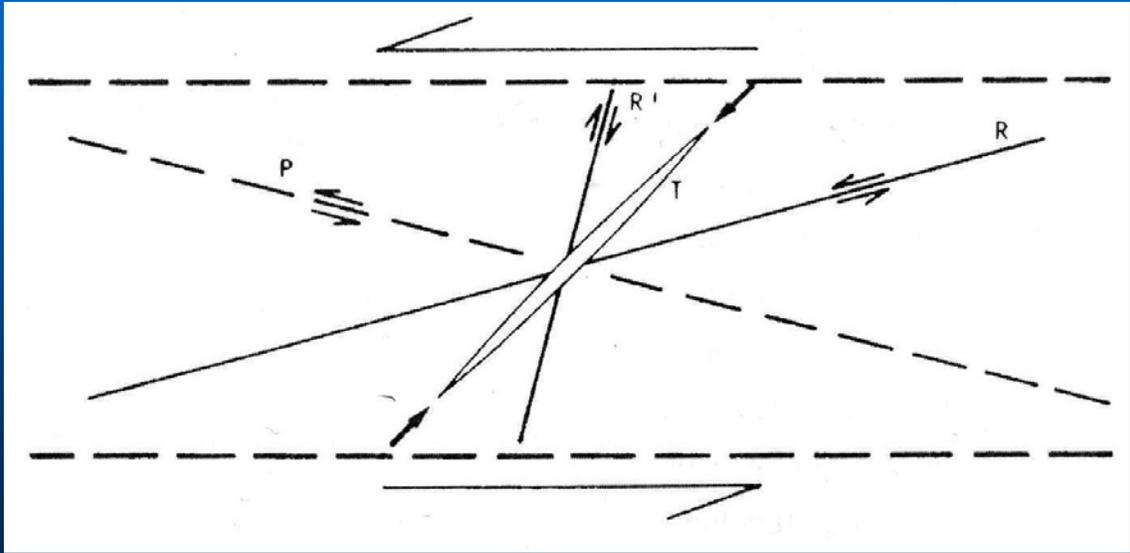
06/06/2017

HM





# Sistemas de fracturas de Riedel



Cizallas de Riedel:

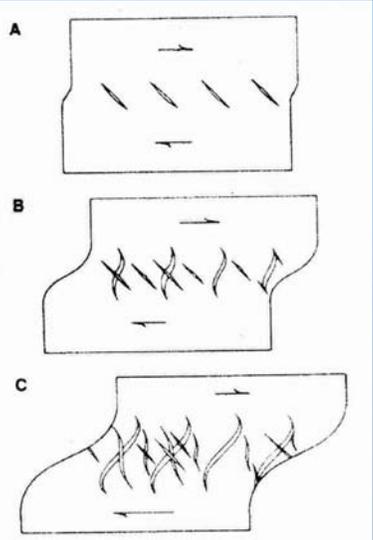
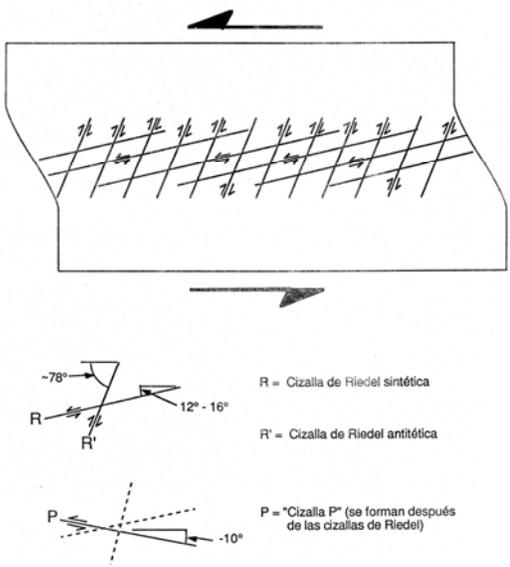


Figura 5-30- Desarrollo de venas sigmoidales.

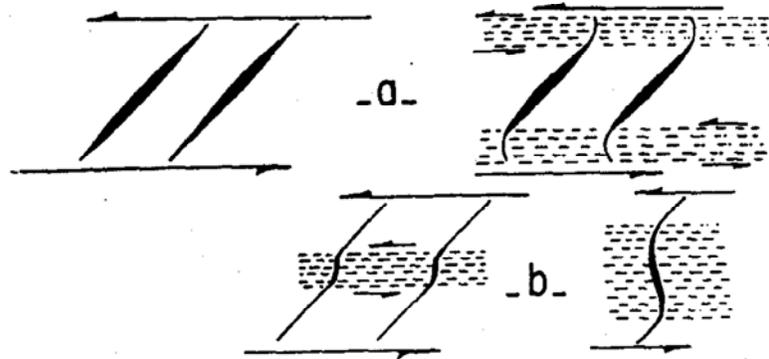
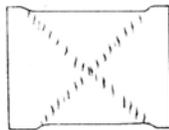


Fig. 5.6. Rotación de grietas de extensión lenticulares escalonadas por un cizallamiento dúctil, localizado en la periferia de la banda (a) y situado en el centro (b). (Roering, 1968. *Tectonophysics*, 5, 107.)

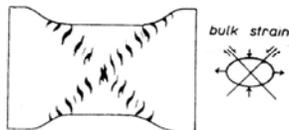
06/06/2017

HM

A. First increment, initiation of conjugate shear zones



B. Irrotational finite strain



C. Rotational finite strain

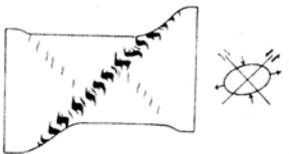


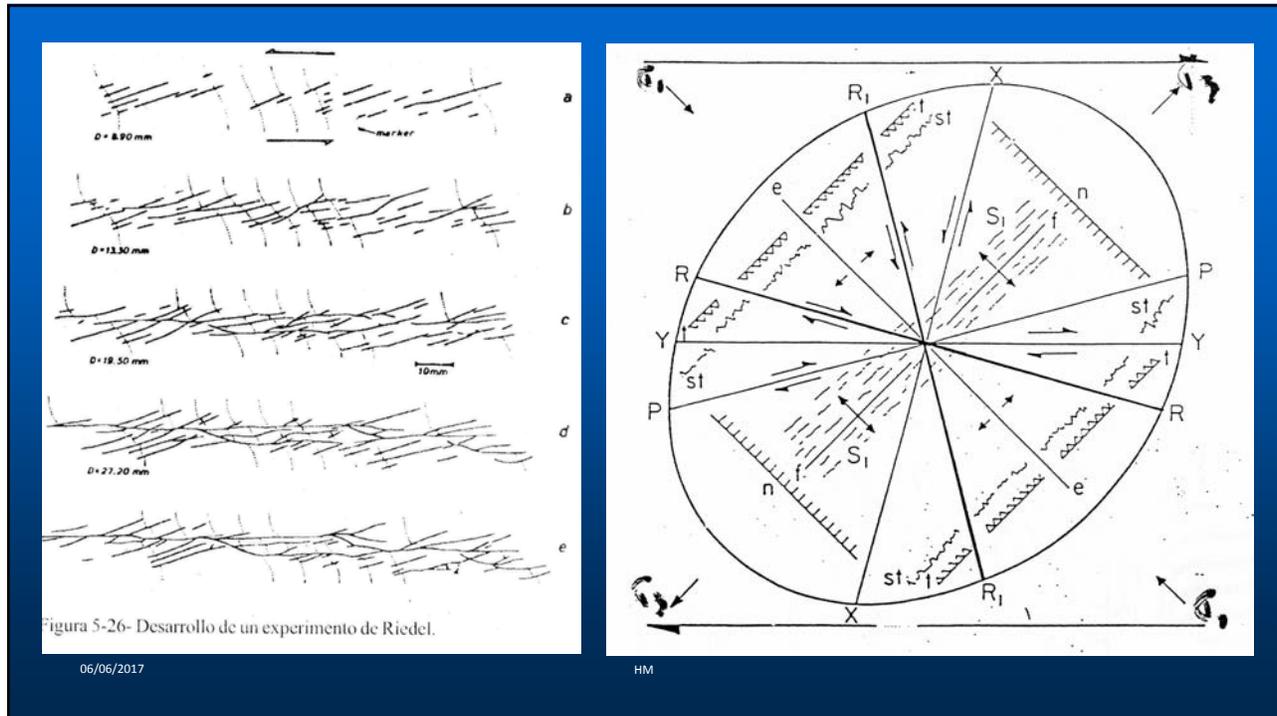
Figura 5-31- Desarrollo de venas sigmoidales.

## Evolución de zonas de Riedel conjugadas

- Primer incremento: inicio zonas conjugadas
- Incremento de strain irrotacional
- Incremento de strain rotacional

06/06/2017

HM



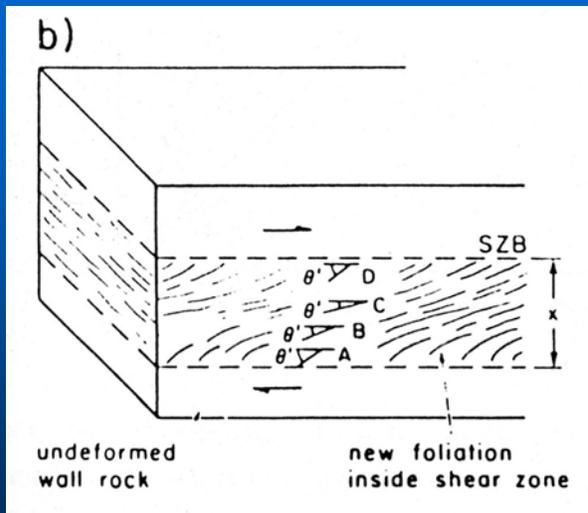
## Zonas de cizalla dúctiles

## Zona de cizalla: Definición

- Volumen de roca **tabular** afectado por deformación heterogénea asimétrica **localizada** que combina **aplanamiento** y **cizalla (simple + pura)**, pasando gradualmente a la roca sin deformar hacia los costados.
- **Dimensiones:**
  - Espesores desde microscópicos hasta multi-kilométricos.
  - Longitudes desde métricas a miles de km.
  - Fajas alargadas, tabulares, anastomosadas y compartimentadas
- **Tipos:**
  - Frágiles: Arreglos de fallas
  - Frágil-dúctiles: Arreglos de fallas con deformación interna
  - Dúctiles: Zonas de cizalla controladas por flujo material

06/06/2017

HM



06/06/2017

HM

## Estructuras asociadas

### ■ Penetrativas:

- Foliación milonítica, esquistosidad, gneisoidad, lineación mineral, lineación de estiramiento, tramas microscópicas de forma y cristalográficas.

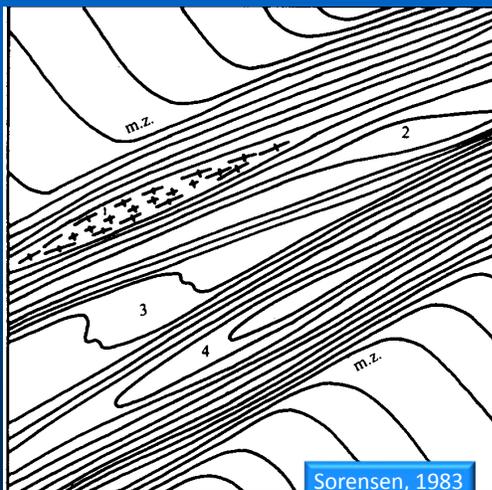
### ■ No penetrativas:

- Pliegues internos, pliegues tardíos de la foliación (externos), boudinage, lentes de foliación, pods, porfiroclastos minerales como indicadores cinemáticos.

06/06/2017

HM

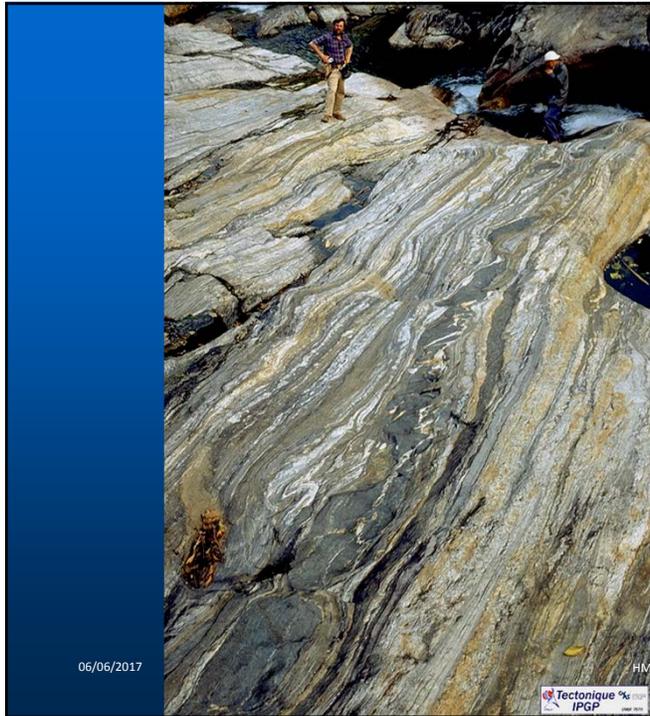
## Modelo general de parte interna de una zona de cizalla dúctil



- Incremento de strain comienza desde zonas marginales (m.z.).
- Parte interna consiste en fajas convergentes o divergentes de rocas subparalelas encerrando lentes menos deformados:
  - 1. Pods graníticos o charnoquíticos.
  - 2 y 3. Lentes con cambios en rumbo de foliación.
  - 4. Lentes encerrando charnelas de pliegues isoclinales.

06/06/2017

Sorensen, 1983



Zona de  
cizalla Oued:  
deformación en  
condiciones AP-AT

06/06/2017

Tectonique  
IPGP

HM



Pliegues  
asociados:  
ZC Sierra  
Ballena

06/06/2017

© 2007 Europa Technologies  
Imago © 2007 DigitalGlobe

© 2007  
Google™

Funitero 34°45'04.61" S 65°00'07.02" G elev. 109 m Secuencia 100% Alt ojo 482 m

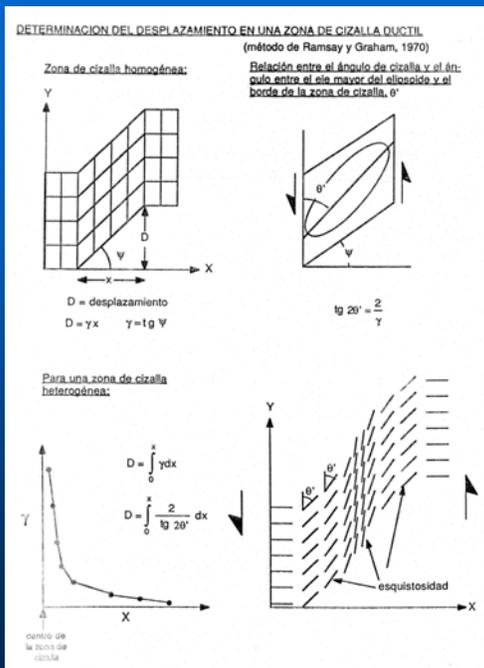
HM

## Condiciones límite (Ramsay 1980)

- Generalmente bordes paralelos
- Perfiles de desplazamiento idénticos (para cualquier sección)
- Estructuras de pequeña escala y variación de strain idénticos (excepto en sus extremos)
- Tipos de desplazamiento:
  - Cizalla simple heterogénea
  - Cambio de volumen heterogéneo (por presión– disolución)
  - Combinación de cizalla simple, cizalla pura y cambio de volumen

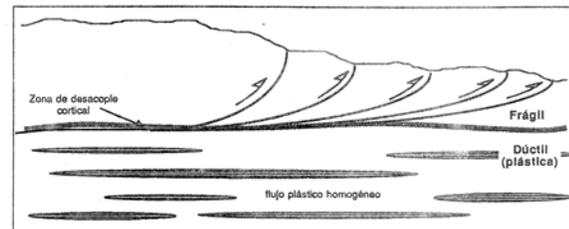
06/06/2017

HM

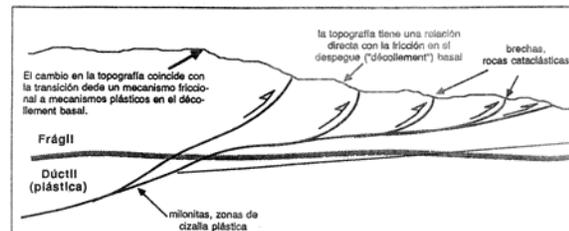


### ¿Qué sucede con las estructuras en la transición frágil-ductil?

#### Hipótesis A: Zona de desacople cortical



#### Hipótesis B. Cambios en el mecanismo de fallamiento



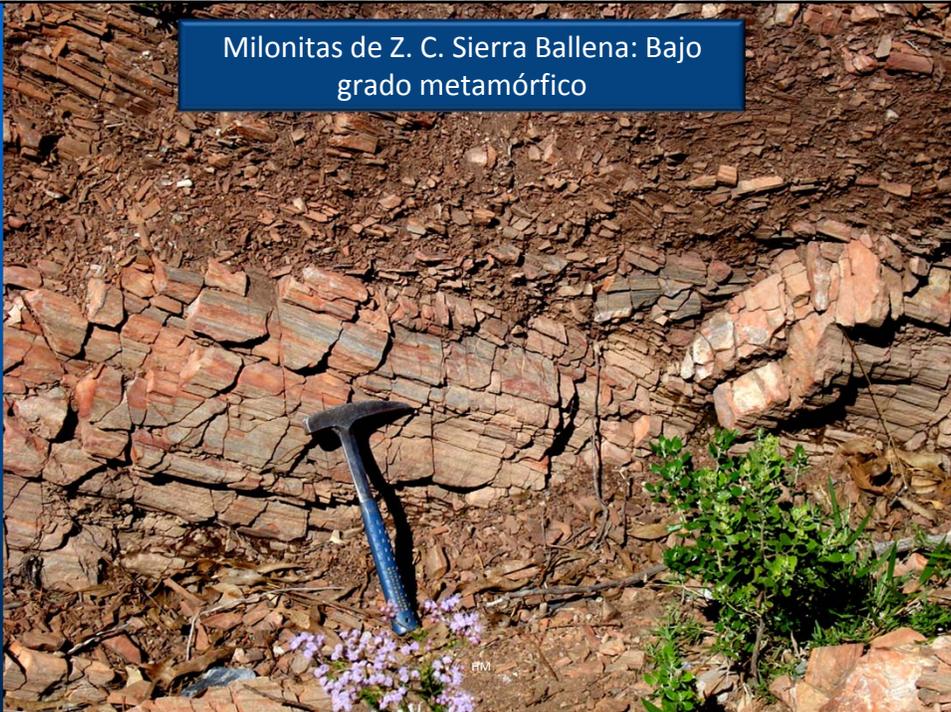
Moine thrust zone: Knockan Crag



06/06/2017

HM

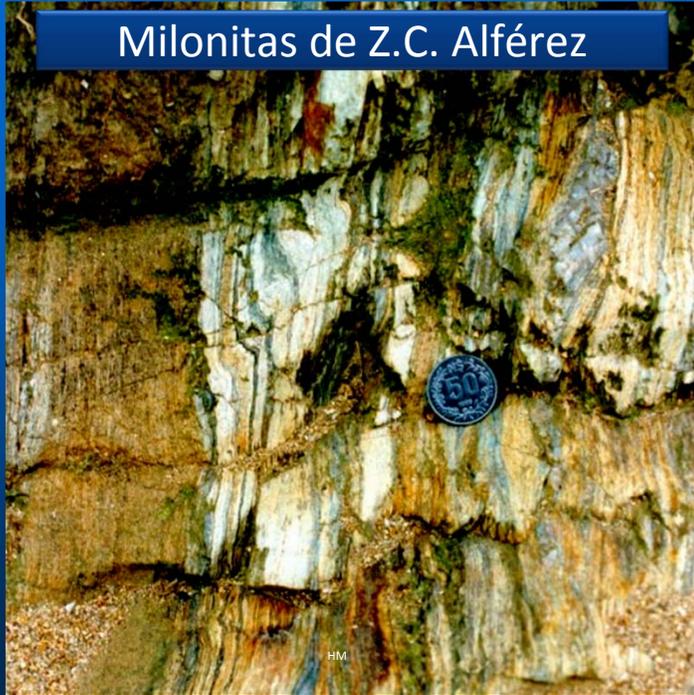
Milonitas de Z. C. Sierra Ballena: Bajo grado metamórfico



06/06/2017

HM

### Milonitas de Z.C. Alférez



06/06/2017

### Boudinage en bandas de cizalla en milonitas



06/06/2017

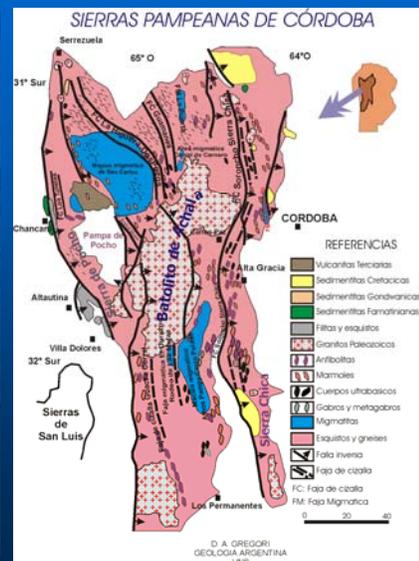
# California Ranges y Detachments

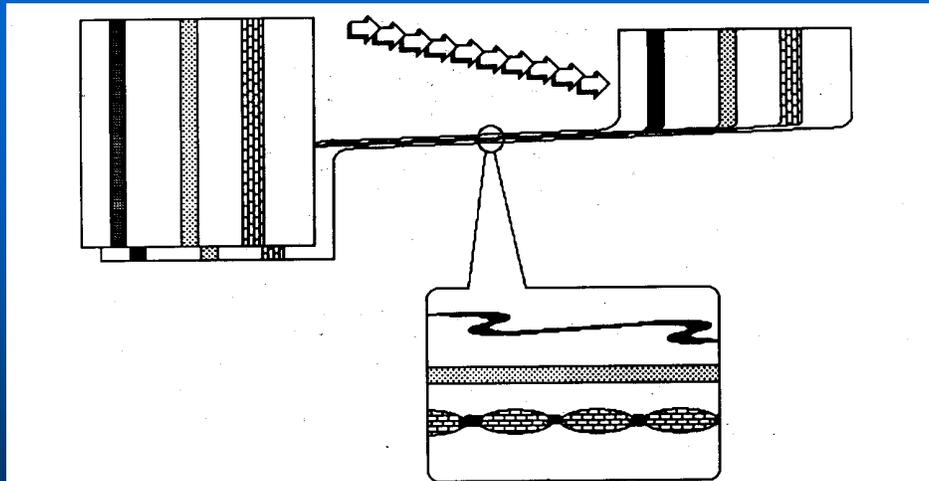


06/06/2017

Marli Bryant Miller

# Gneises retrabajados de Sierra de Pocho



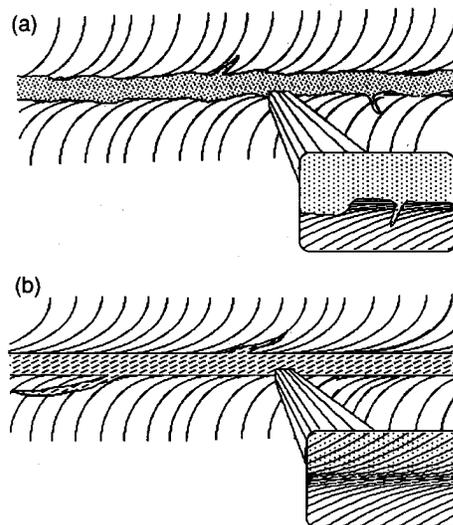


**Fig. 4.18.** Depending on their original orientation, veins may become folded and/or boudinaged and may rotate into parallelism at high strain; coexisting boudinaged and folded veins (bottom) may therefore belong to the same phase of deformation.

06/06/2017

(a) Vena intrusiva poscinemática en antigua zona de cizalla.

(b) Vena en el núcleo de una zona de cizalla joven y afectada por esta.



**Fig. 4.38.** Two superficially similar situations representing opposite sequences of events: (a) A vein was intruded along an older shear zone; it cuts the foliation of the shear zone, and displays angular jogs and branching veinlets in the margin of the zone. (b) An intrusive vein that was the nucleus of a younger shear zone may have an internal foliation and flattened jogs and branching veinlets.

06/06/2017

# Indicadores cinemáticos

## Concepto de Vorticidad

- Si velocidad de flujo  $\rightarrow$  mayor en el medio:
  - Molinetes colocados a ambos lados tendrán sentido de rotación opuesto
  - Molinete del medio no rotará
- Vorticidad:
  - Suma de velocidades angulares con respecto de los ejes de estiramiento instantáneo (EEI) de cualquier par de líneas materiales ortogonales ( $p$  y  $q$ )
- Espín:
  - Rotación adicional de los EEI respecto de un sistema de referencia externo (Passchier e Trouw 1996)

# Vorticidad y Espín

06/06/2017

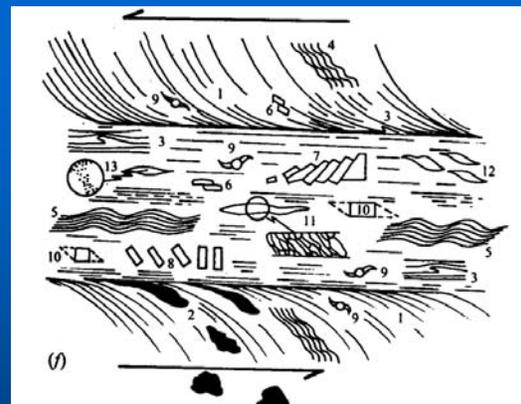
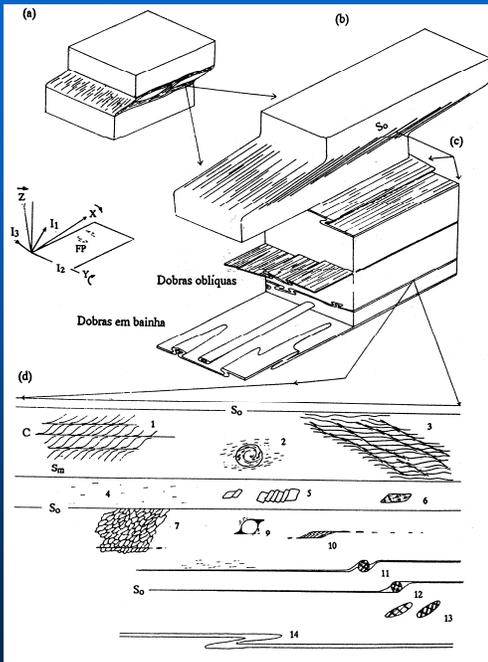
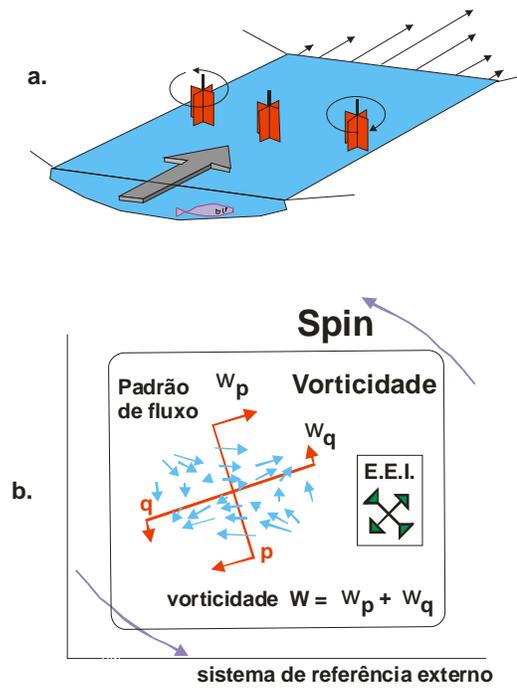
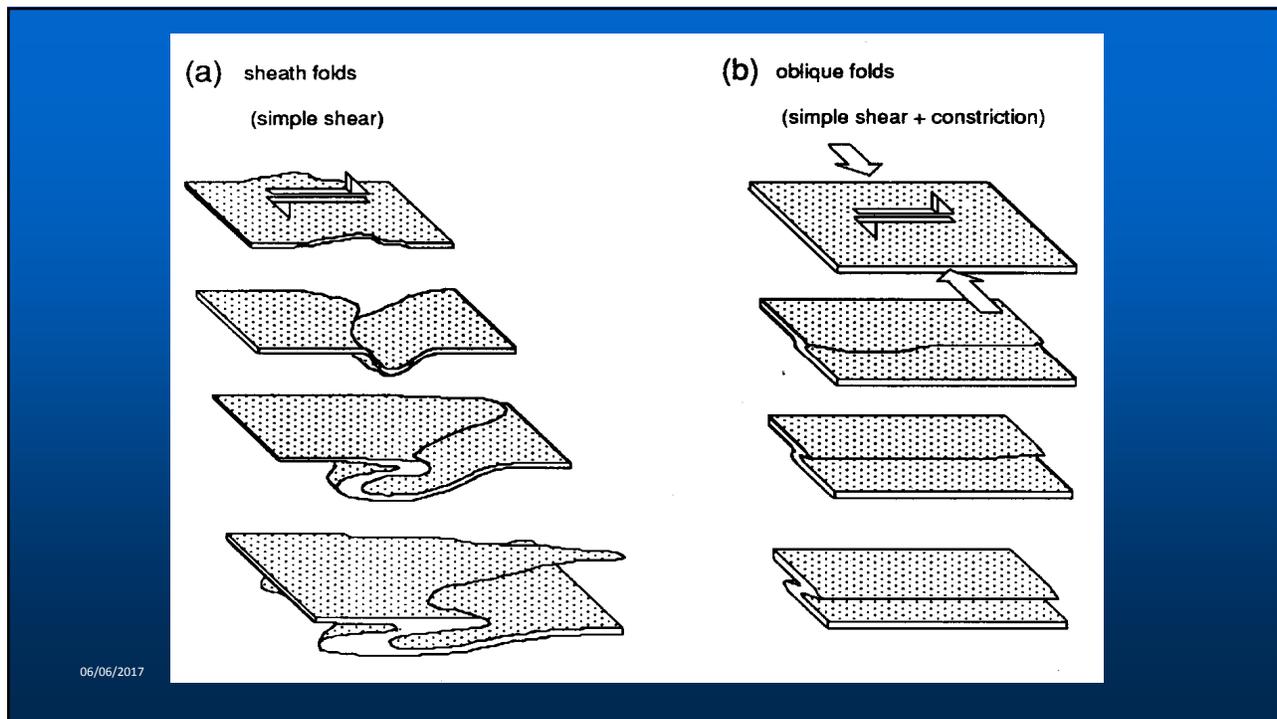


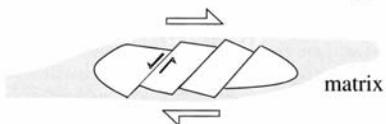
Fig. 18.23. (a) The orientation of the maximum principal compressive stress associated with the first increment of shear deformation. The eccentricity of the strain ellipse is exaggerated for clarity. (b) The tectonic fabric induced by this compressive stress. (c) Rotation of the shear zone fabric during shearing. New fabric continues to grow at  $45^\circ$  to the shear zone margin. (d) Crenulation cleavage formed by compression of the shear zone fabric. (e) Block diagram showing the fabric as an S-L-tectonite. The stretching lineation is parallel to the long axis of the ellipses. Progressive deformation may result in the development of a mylonite in the central part of the shear zone and kinematic indicators of the movement sense in such mylonite zones are shown in (f). These include:



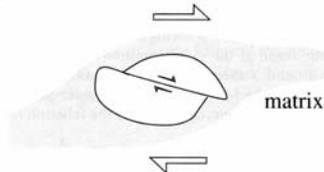
06/06/2017

## Estructura "bookshelve"

antithetic microfaults or shear zones in grains



synthetic microfaults or shear zones in grains



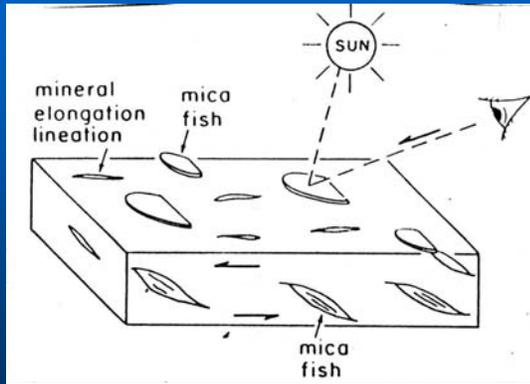
**Fig. 5.31.** Illustration of the two mechanisms of formation of stepped fragmented grains at similar bulk shear sense (*large arrows*)



06/06/2017

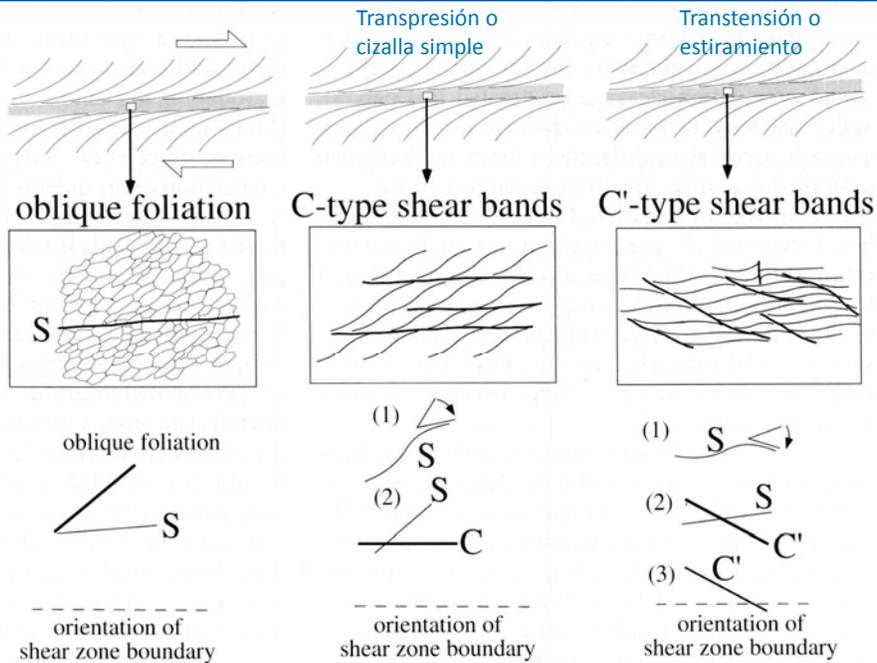
HM

# Mica-fish



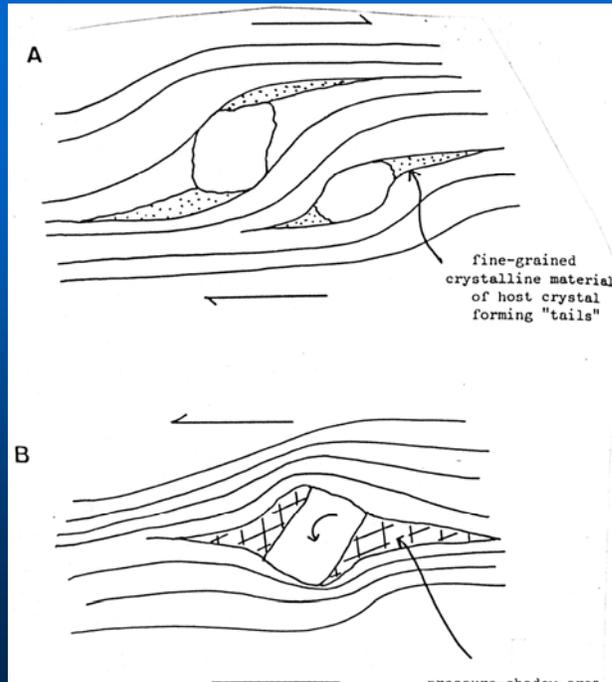
06/06/2017

HM



06/06/2017

**Porfiroclastos:**  
**A.** Con colas de  
 conminución.  
**B.** Con sombras  
 de presión  
 recristalizadas



06/06/2017

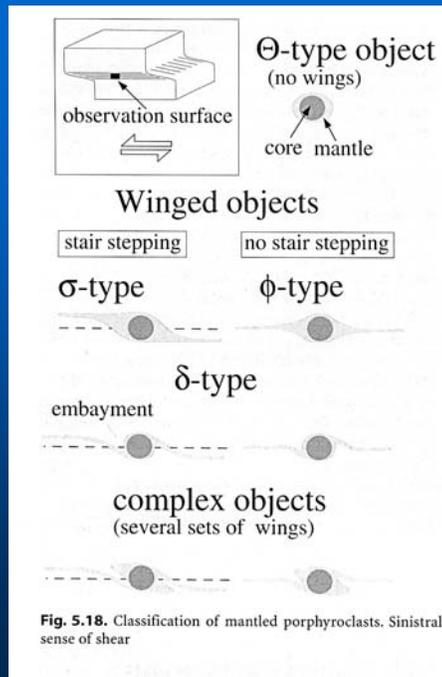
## Porfiroclastos delta



06/06/2017

HM

## Porfiroclastos rotados y envueltos



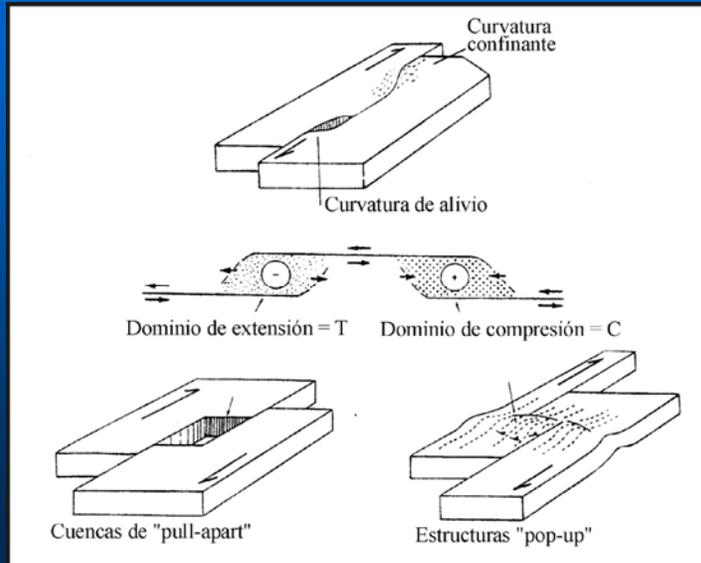
06/06/2017

## Modelos cinemáticos en 3D

06/06/2017

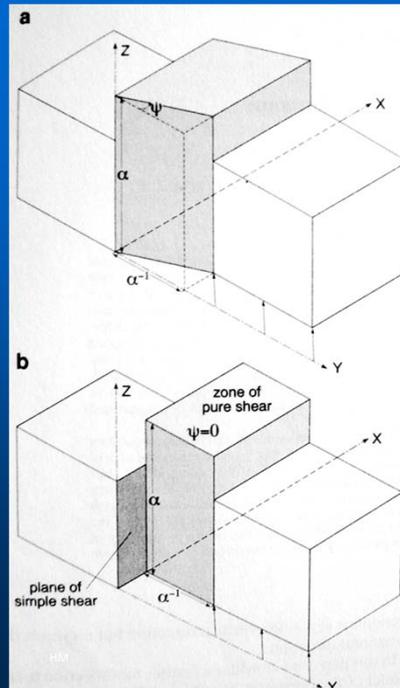
HM

## Estructuras asociadas a fallas transcurrentes

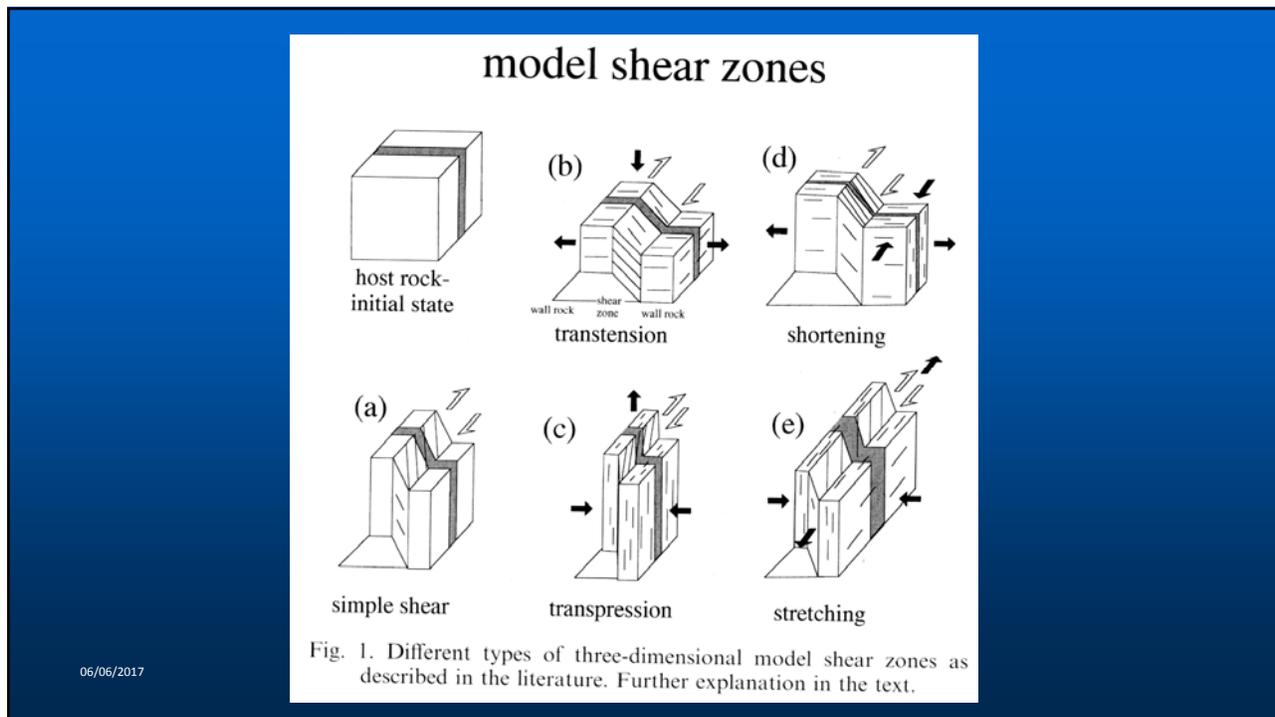


06/06/2017

## Zonas de cizalla dúctiles: Transpresión general (Sanderson & Marchini 1984)



06/06/2017



06/06/2017

## Conclusiones

- Las estructuras de **fallas transcurrentes** varían con la profundidad y pasan de frágiles a dúctiles (P. ej., Sierra Ballena).
- Las estructuras de fallas de bajo ángulo en **sistemas de cabalgamiento** se superponen con el avance de la exhumación, desde condiciones dúctiles a pseudotaquilitas y hasta frágiles, con brechas de falla (P.ej., Sierra de Pocho, Córdoba).
- Los **indicadores cinemáticos** en zonas de cizalla permiten determinar el movimiento de los bloques adyacentes.

06/06/2017

HM