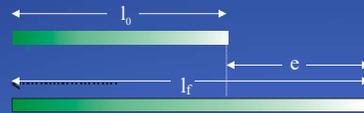


## Strain unidimensional

belemnites



$$e = \frac{l_f - l_0}{l_0}$$

$$S = l_f / l_0 = (1 + e) \text{ (estiramiento)}$$

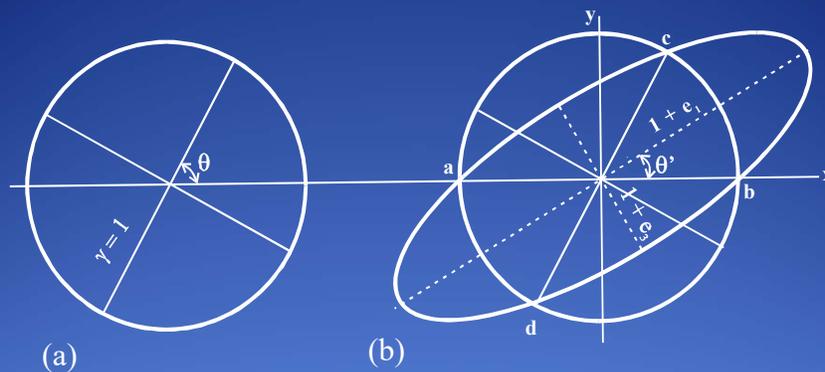
$$\lambda = S^2 = (l_f / l_0)^2 = (1 + e)^2 \text{ (elongación cuadrática)}$$

$$\epsilon = \ln(1 + e) = 1/2 \ln \lambda \text{ (deformación natural)}$$

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Strain en 2D: Cizallas simple y pura

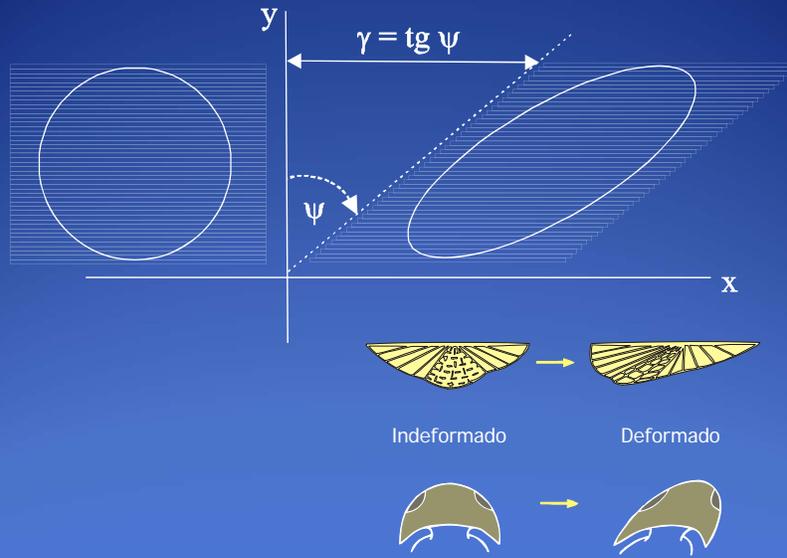


- Elipse de deformación interna (strain)

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Distorsión angular



31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Caja de deformación

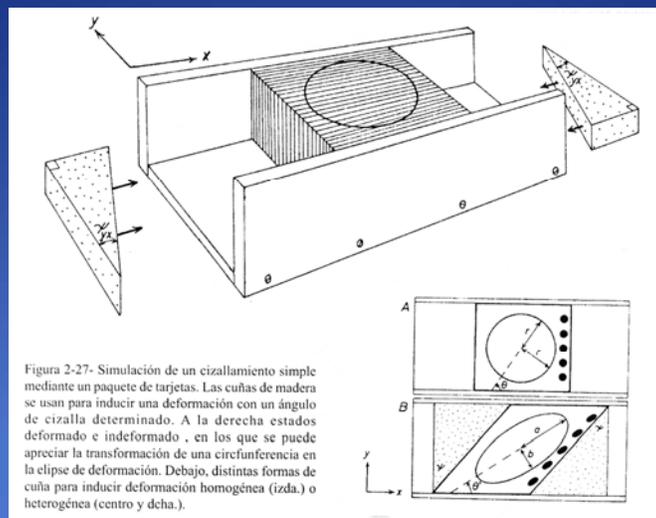


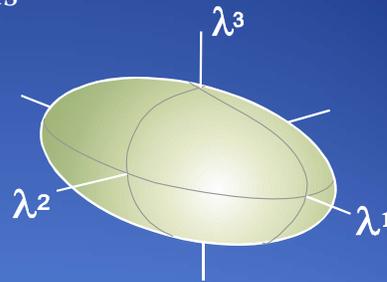
Figura 2-27- Simulación de un cizallamiento simple mediante un paquete de tarjetas. Las cuñas de madera se usan para inducir una deformación con un ángulo de cizalla determinado. A la derecha estados deformado e indeforado, en los que se puede apreciar la transformación de una circunferencia en la elipse de deformación. Debajo, distintas formas de cuña para inducir deformación homogénea (izda.) o heterogénea (centro y dcha.).

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Strain en 3D: de la contracción uniaxial al achatamiento axial simétrico

- Elipsoide de *deformación*
- Ejes principales ortogonales
- Planos de simetría
- Formas:
  - Uniaxial
  - Biaxial
  - Triaxial
- Caso triaxial general:
  - $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$



31/03/2017

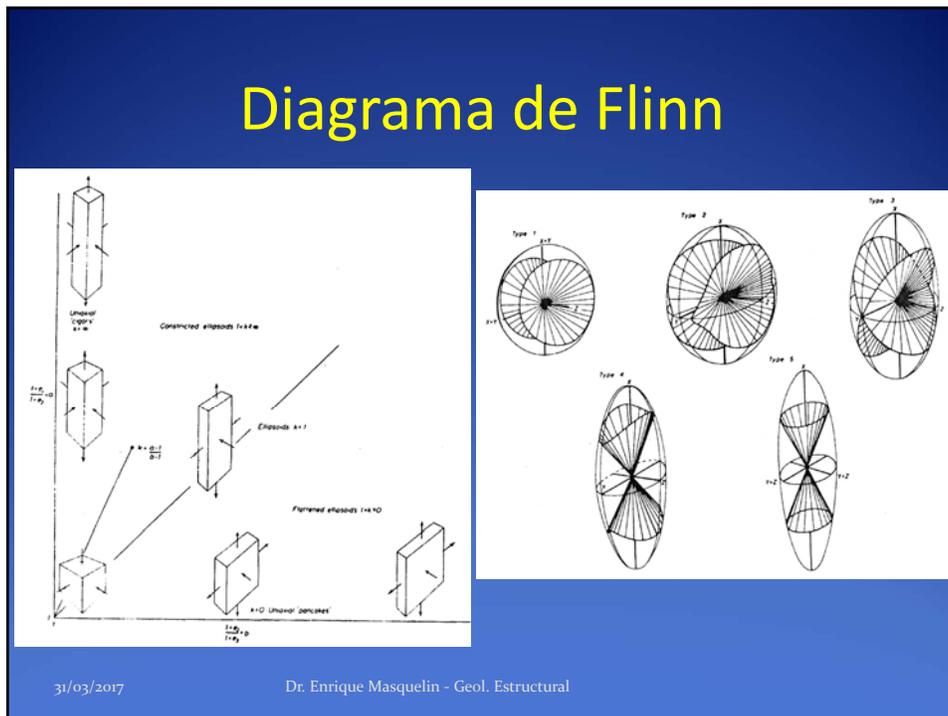
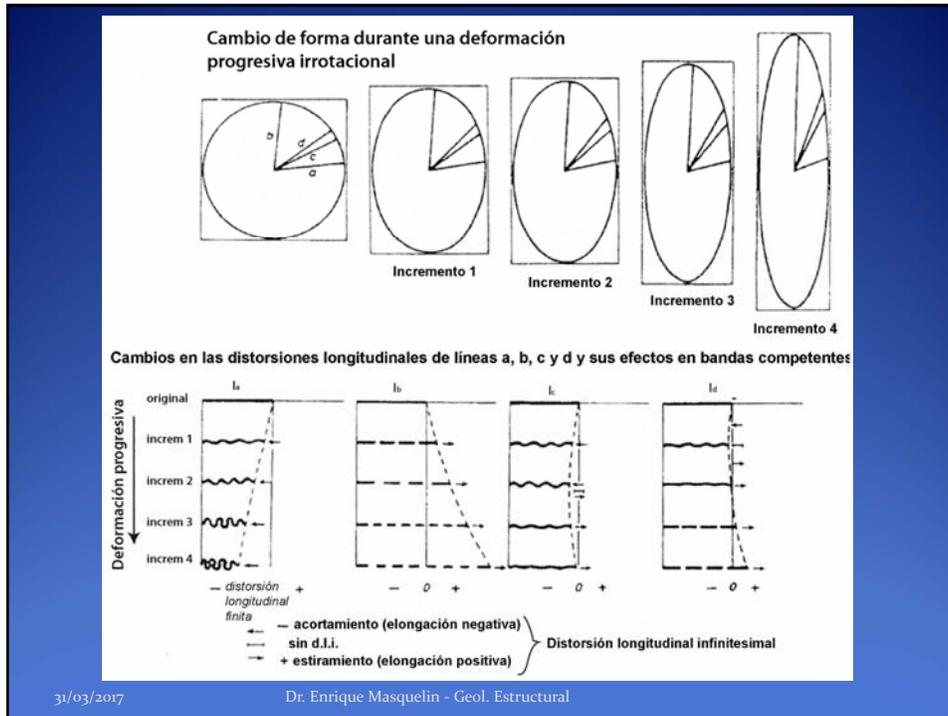
Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

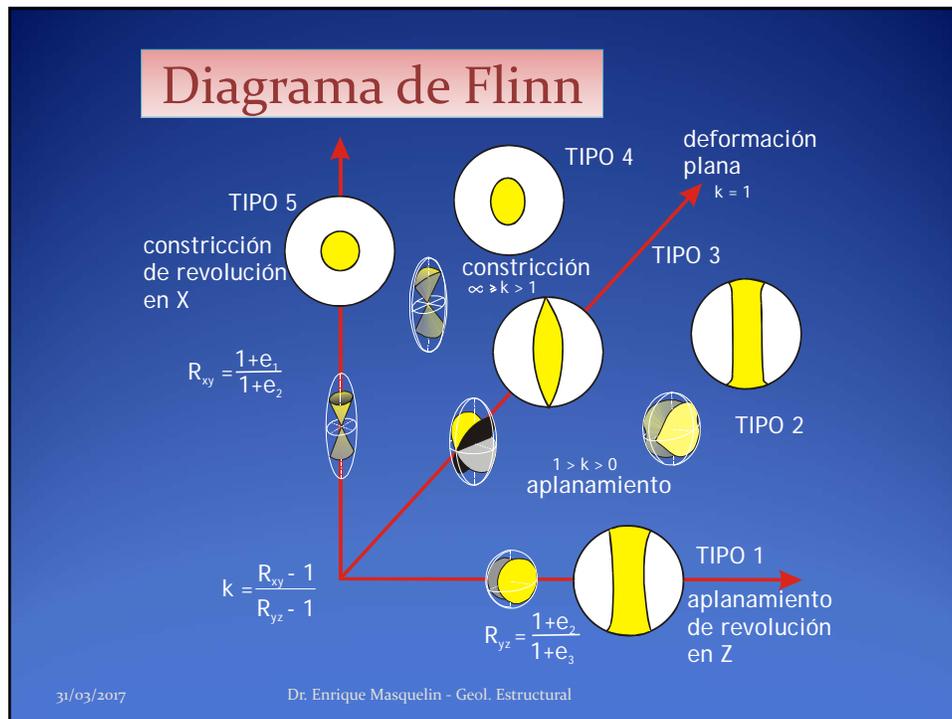
## Desplazamientos debidos al cambio de forma

- Desplazamientos de cuerpo rígido con cambio de posición global se miden directamente (distancias, ángulos).
- Desplazamientos relacionados con el flujo de roca requieren 3 tipos de medidas:
  - cambio longitudinal interno
  - cambio angular interno
  - cambio de volumen

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural





## Medida de la deformación angular finita

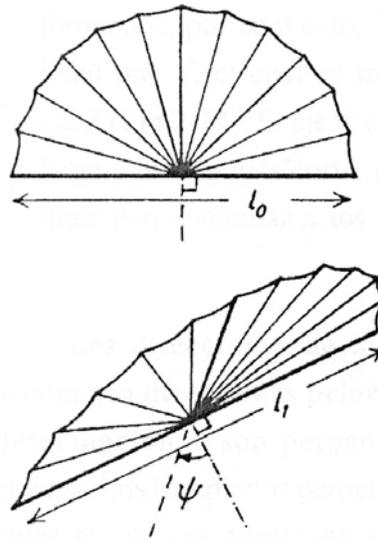


Figura 2-12- Medida de la deformación angular utilizando el fósil de un braquiópodo.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Strain en 3D con cambio de volumen

- **Strain volumétrico:**
  - cambio de volumen isótropo y anisótropo
  - Isótropo: esfera de *strain*; anisótropo: elipsoide.
- **Strain uniaxial (compactación):**
  - Contracción o extensión a lo largo de uno de los ejes principales (sin cambio en los otros 2).
- **Cizalla Pura y deformaciones coaxiales:**
  - Deformación coaxial implica que las líneas a lo largo de los ejes principales de strain tienen la misma orientación que en el estado indeformado.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Strain en 3D sin cambio de volumen

- **Cizalla simple:**
  - Tipo especial de deformación plana a volumen constante.
  - Para deformaciones no coaxiales, las orientaciones de los ejes principales de strain son diferentes para diferentes incrementos de strain, mientras que para deformaciones coaxiales siempre apuntan en la misma dirección (igual orientación, diferentes largos).
- **Cizalla sub-simple:**
  - Combinación entre cizalla simple y cizalla pura en diferentes proporciones.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Strain en las rocas a partir de elementos de forma conocida

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método de Wellman

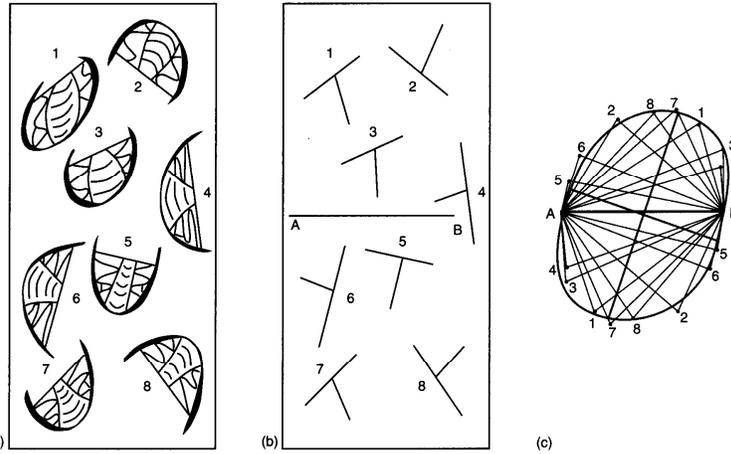


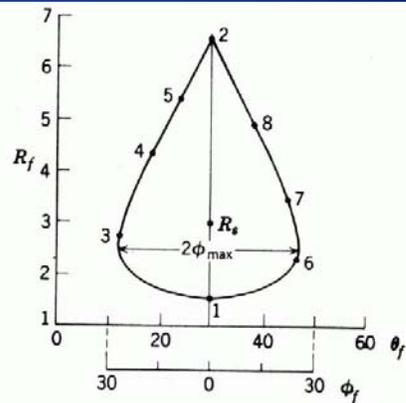
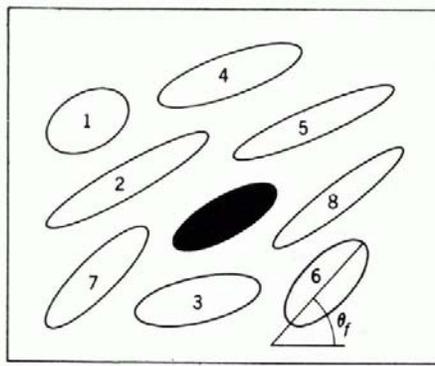
FIGURE 5-12

Determination of strain in fossils, using Wellman's method. Note that neither of the axes of the best-fit ellipse in (c) are parallel to the arbitrarily chosen line AB in (b). Using the ratio of long ( $X$ ) to short ( $Z$ ) axes in the ellipse in (c), the trilobite cephalons record a strain of 1.29.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método $R_f / \phi$



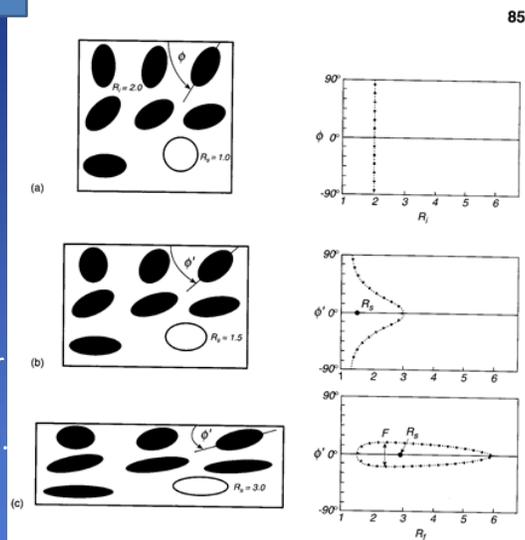
- Deformación homogénea de elipses de razón axial originalmente constante diversamente orientadas.
- Resultados de la deformación con  $R_s > R_i$ .

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método $R_f / \phi$

- Relaciones entre la **elipticidad inicial ( $R_i$ )** y su **orientación axial ( $\phi$ )**, y la **orientación axial final ( $\phi'$ )** usando un conjunto de marcadores elípticos:
  - (a)  $R_s = 1$  con elipticidad inicial  $R_i = 2$
  - (b) y (c) Deformación por achatamiento vertical,  $R_s = 1,5$  y  $3$  (**F: fluctuación**).
  - Cada punto de la gráfica corresponde a un clasto.

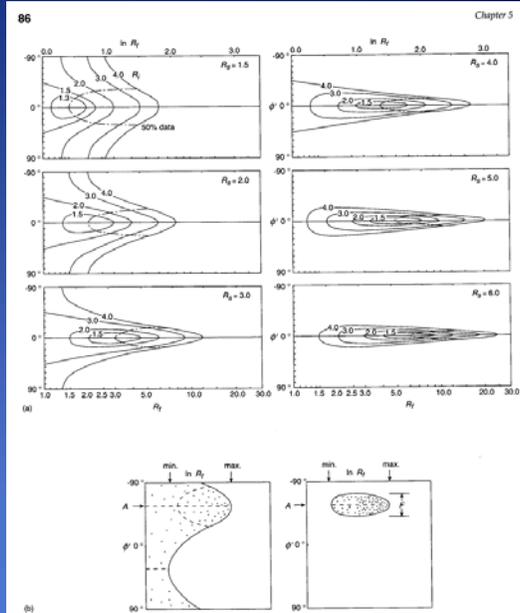


31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método $R_f / \Phi$

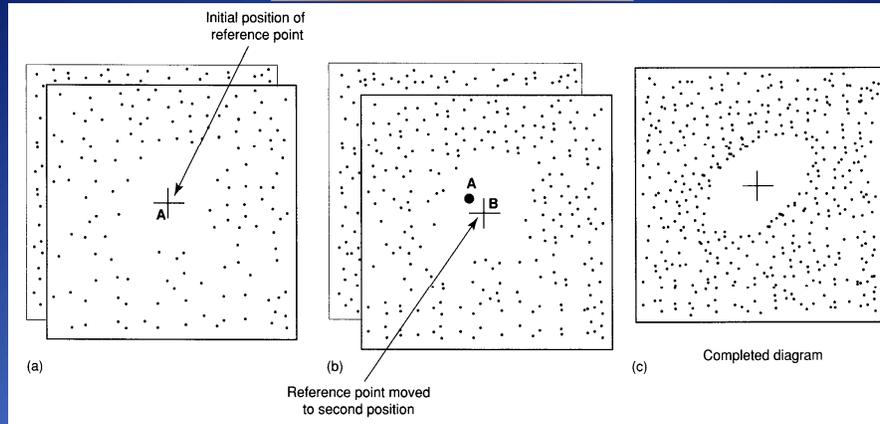
- Diagramas  $R_f / \phi'$  mostrando diversas relaciones entre  $R_i$  y  $R_s$  y las curvas resultantes.
- (a) curvas  $R_f / \phi'$  para diferentes valores de elipticidad inicial y su elipse de strain,  $R_s$ .
- (b) Artefactos de la curva  $R_f / \phi'$  utilizados para calcular el strain; notar la simetría de la fluctuación (**F**) respecto de la orientación de la elipse de strain. A la izquierda:  $R_i > R_s$ ; a la derecha:  $R_s > R_i$ .



31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método de Fry

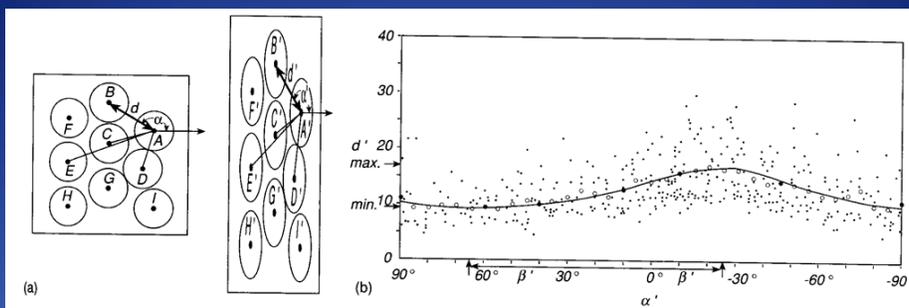


- Calco para colocar el punto de referencia a través de **posiciones sucesivas (a y b)** y los centros de los granos en la foto que está debajo transferidos al calco hasta que un área vacante aparezca **(c)** o hasta que quede claro que ninguna otra va a aparecer y por consiguiente se dibuja una elipse.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Método 'centro a centro'



- Construcción de líneas de unión ( $d'$ ) entre los centros de partículas **contiguas** sometidas a una deformación.
- Gráfica:  $f(\alpha') = d'$ .
- $\alpha'$  se mide entre la línea  $d$  (más corta) y el eje de acortamiento (flecha). Las demás líneas de unión ( $d'$ ) se colocan como porcentajes de la más corta.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Aplicación del análisis del *strain*



Distribución del *strain* en la Nappe de Morcles (Suiza-Francia)



31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Análisis cinemático de la deformación

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Análisis cinemático del *strain*

- **Análisis Estructural clásico = geométrico**
  - Método histórico – descriptivo (inductivista)
  - Geometría es estática, no debe ser un fin en sí mismo.
- **Análisis Estructural moderno = cinemático**
  - Abordaje físico de la deformación, en términos de PROCESO.
  - Interesa el poder relatar la evolución tectónica a partir de las evidencias estructurales de campo.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Análisis tectonofísico aplicado al desplazamiento de placas

- **Procesos de la deformación**
  - Mecanismos relacionados al flujo dúctil
- **Requiere:**
  - Conceptos de la física (mecánica del continuo) e metalurgia
  - Conceptos de petrología estructural
  - Estudios experimentales y modelos analógicos y numéricos
  - Estudios de la deformación natural
    - Desde mecánica en la deformación de cristales
    - Hasta mecánica en la deformación de las Placas

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Sistema geodinámico

- **Conjunto complejo de deformaciones**
  - Variaciones de patrón cinemático → inducidas por heterogeneidades (heredadas o adquiridas) durante una orogénesis determinada.
- **Deformación continental**
  - Difusa (naturaleza y composición) ≠ placas oceánicas (mineral índice)
  - Reología elastoplástica y gran extensión
  - Acortamiento total acomodado por zonas de alta deformación de escala regional

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Zonas de alta deformación

- **Dominadas por cizalla simple:**
  - Único régimen capaz de mantener compatibilidad de deformación sin problemas de espacio (≠ cambio de volumen y cizalla pura).
- **Deformación entendida como flujo de roca en estado sólido:**
  - Materializado por estructuras mega-, meso- y microscópicas en rocas deformadas.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Definición de Análisis cinemático

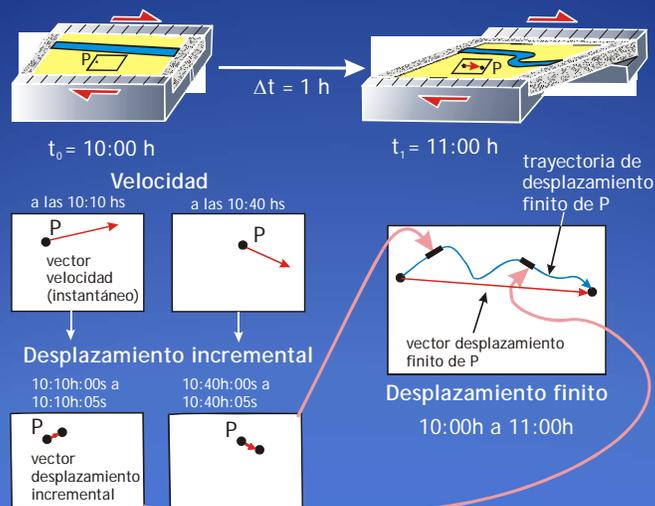
- **En Física:**
    - Estudio de los movimientos observados, sin considerar las causas que los producen (Gruber 1988).
  - **En Geología:**
    - Estudio de los movimientos externos e internos, en cualquier escala, responsables del actual estado geométrico (Nicolas & Poirier 1976).
- Corolario:** Permite reconstruir **trayectoria de movimiento** y la distorsión ocurrida durante la deformación de las rocas (Passchier & Trouw 1996).

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Cinemática experimental directa

Deformación experimental y cinemática del punto



31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

## Resumen

- Estudios de análisis estructural clásico (geométrico) asociados al análisis cinemático y al estudio de los mecanismos de deformación:
  - **Base metodológica del análisis estructural moderno.**
- **Sistema de estudio:**
  - correlación del registro para comprender el proceso y definir la historia de deformación

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural

- **Correlación cinemática:**
  - Permite establecer relaciones entre **evolución de la deformación continental** y los **procesos tectónicos activos en los límites de placas en un período determinado.**
- **Campo de desplazamientos de la deformación intracontinental:**
  - Deriva directamente de ellos.

31/03/2017

Dr. Enrique Masquelin - Geol. Estructural