

TEMA 7 FALLAS

DEFINICIÓN

DISCONTINUIDAD DEL MACIZO ROCOSO, CON DESPLAZAMIENTO ASOCIADO.

ELEMENTOS Y TERMINOLOGÍA DE UNA FALLA

RUMBO (α): ANGULO HORIZONTAL FORMADO POR LA INTERSECCIÓN DEL TRAZO DE FALLA RESPECTO AL NORTE.

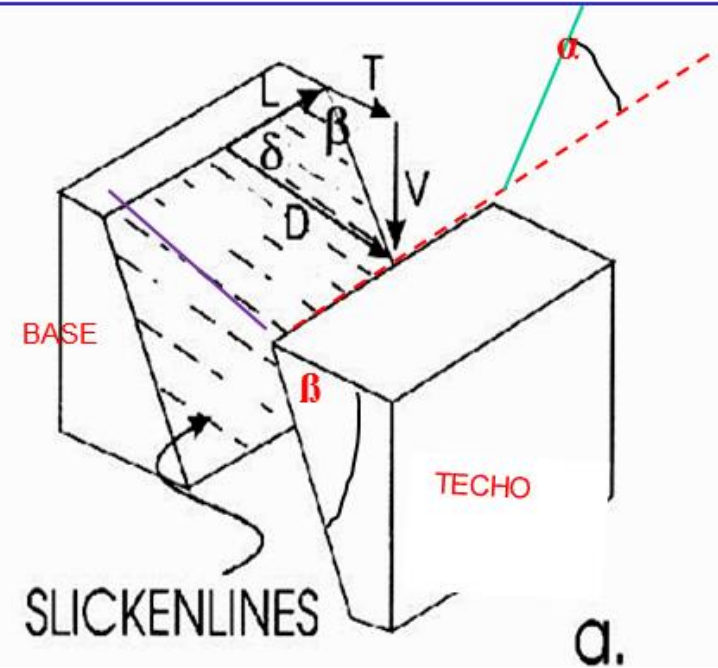
BUZAMIENTO/INCLINACIÓN (β): ANGULO VERTICAL MEDIDO SOBRE EL PLANO DE FALLA, EN UNA DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL RUMBO DE LA MISMA.

RAKE (PITCH) (ϕ): ÁNGULO FORMADO ENTRE TODO ELEMENTO LINEAR CONTENIDO EN EL PLANO DE FALLA (POR EJEMPLO ESTRÍAS DE FRICCIÓN), RESPECTO A UNA LÍNEA HORIZONTAL, MEDIDO SOBRE EL PLANO DE FALLA.

(SI LA SUPERFICIE NO ES VERTICAL)

TECHO –HANGING-WALL- : CUERPO DE ROCA POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE DE FALLA.

BASE –FOOTWALL-: CUERPO DE ROCA POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE FALLA.

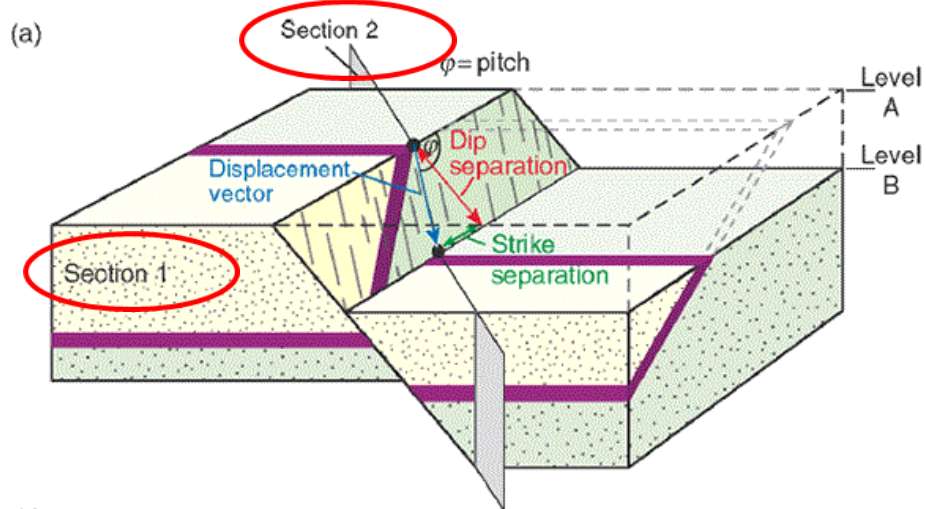


COMPONENTES DEL DESPLAZAMIENTO

DESPLAZAMIENTO TOTAL (**R**)

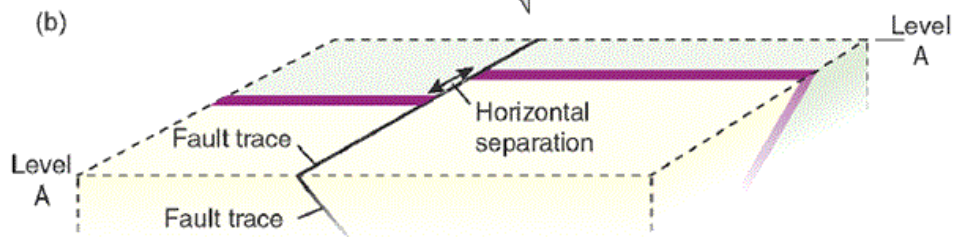
DESPLAZAMIENTO VERTICAL (**V**) (SALTO, THROW),
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL TRANSVERSAL (**T**)
(HEAVE),

DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL LONGITUDINAL (**L**).



SECCIÓN 1 (PERPENDICULAR AL PLANO DE FALLA)

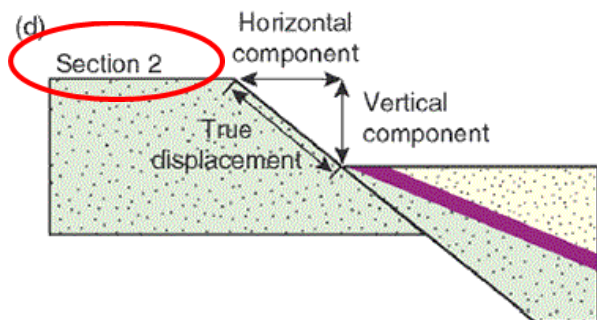
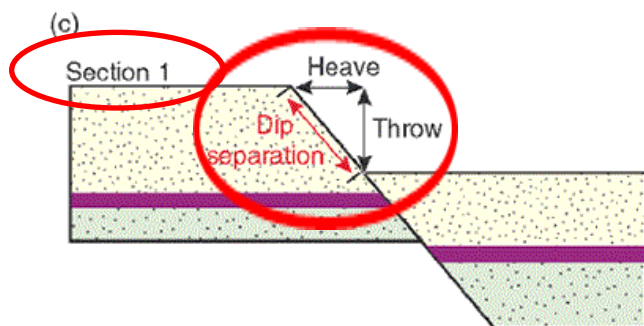
CARACTERIZACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE UNA FALLA SEGÚN LOS COMPONENTES DEL VECTOR DE DESPLAZAMIENTO



SECCIÓN 2 (OBLICUA AL PLANO DE FALLA Y SEGÚN DIRECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO)

CARACTERIZACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE UNA FALLA USANDO UN ESTRATO U OTRO PLANO COMO REFERENCIA

= SEPARACIÓN DE RUMBO O DE INCLINACIÓN (STRIKE SEPARATION/DIP SEPARATION)

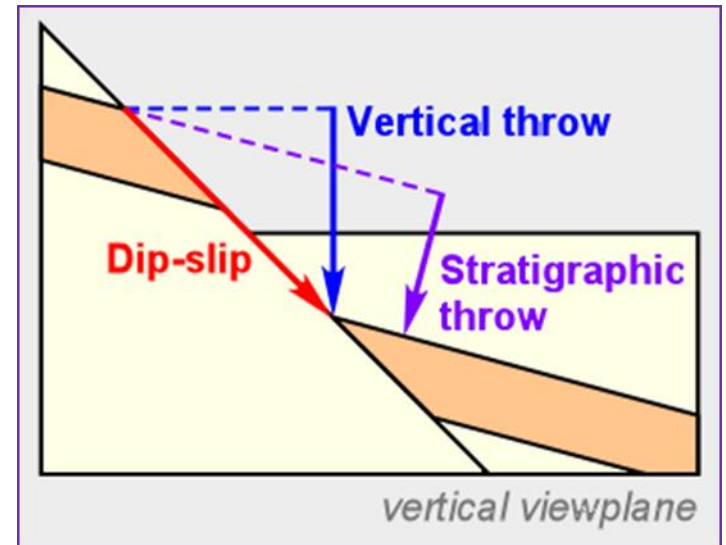
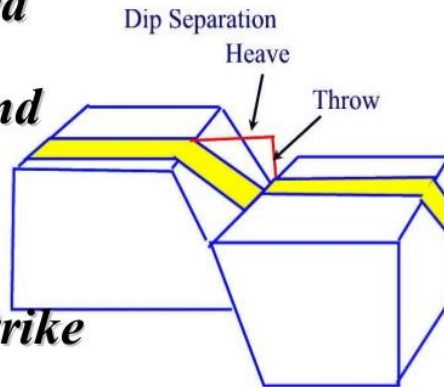


PITCH=RAKE

- **Separation:** *The amount of apparent offset of a faulted surface, measured in specified direction. There are strike separation, dip separation, and net separation.*

- **Heave:** *The horizontal component of dip separation measured perpendicular to strike of the fault.*

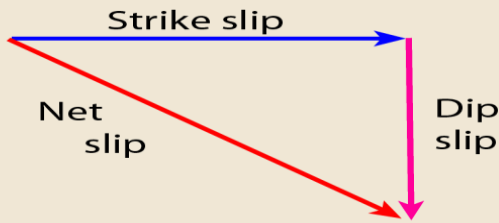
- **Throw:** *The vertical component measured in vertical plane containing the dip.*



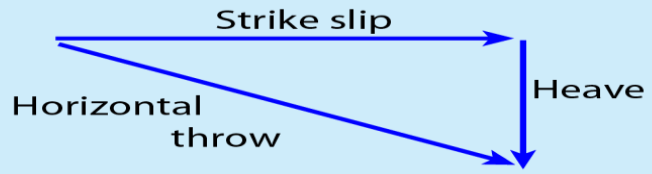
HEAVE = DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL TRANSVERSAL **T**

THROW = DESPLAZAMIENTO VERTICAL **V**

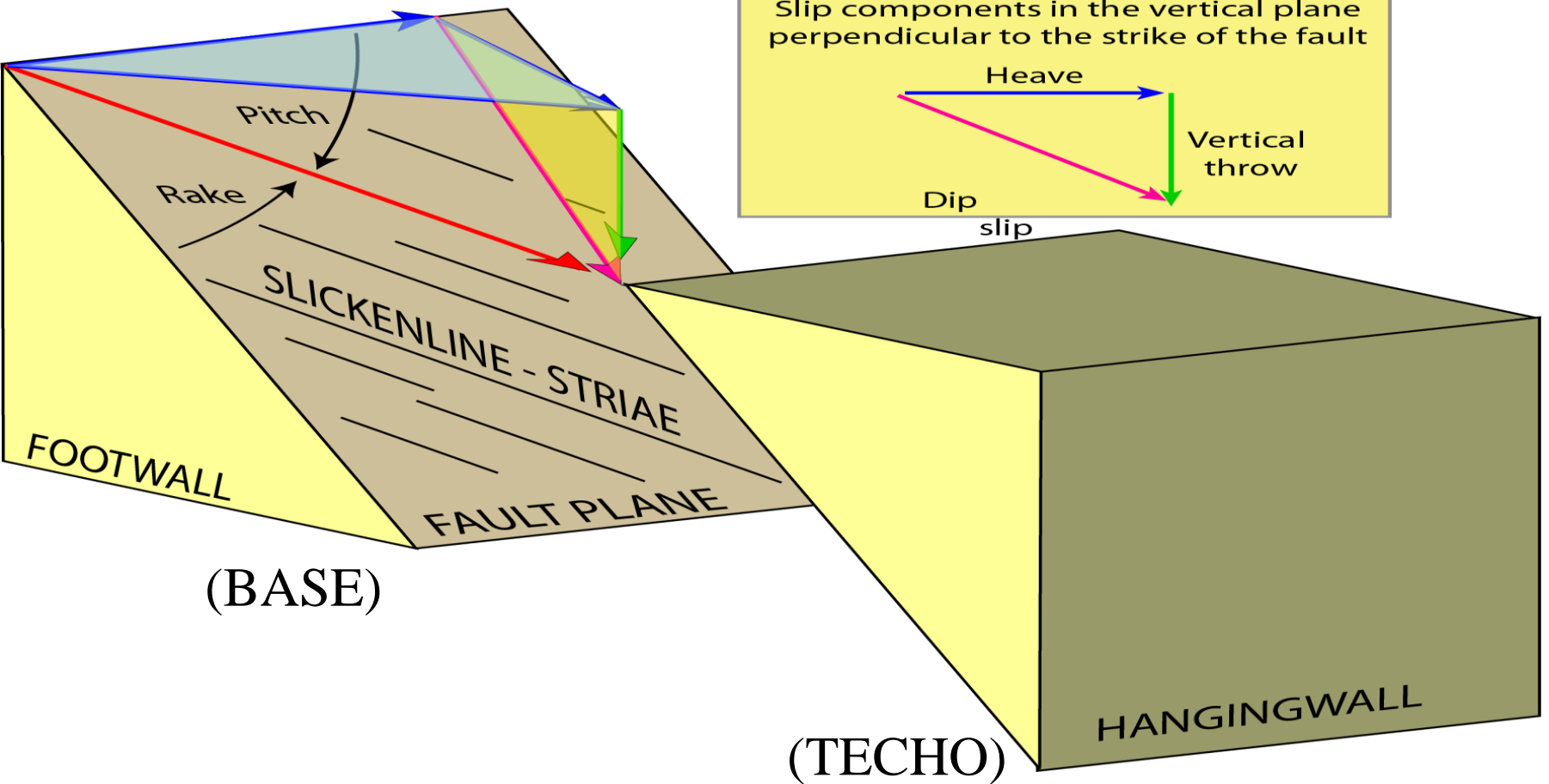
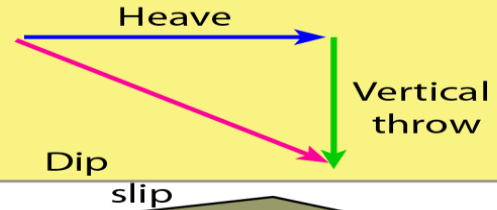
Slip components in the fault plane



Slip components in the horizontal plane



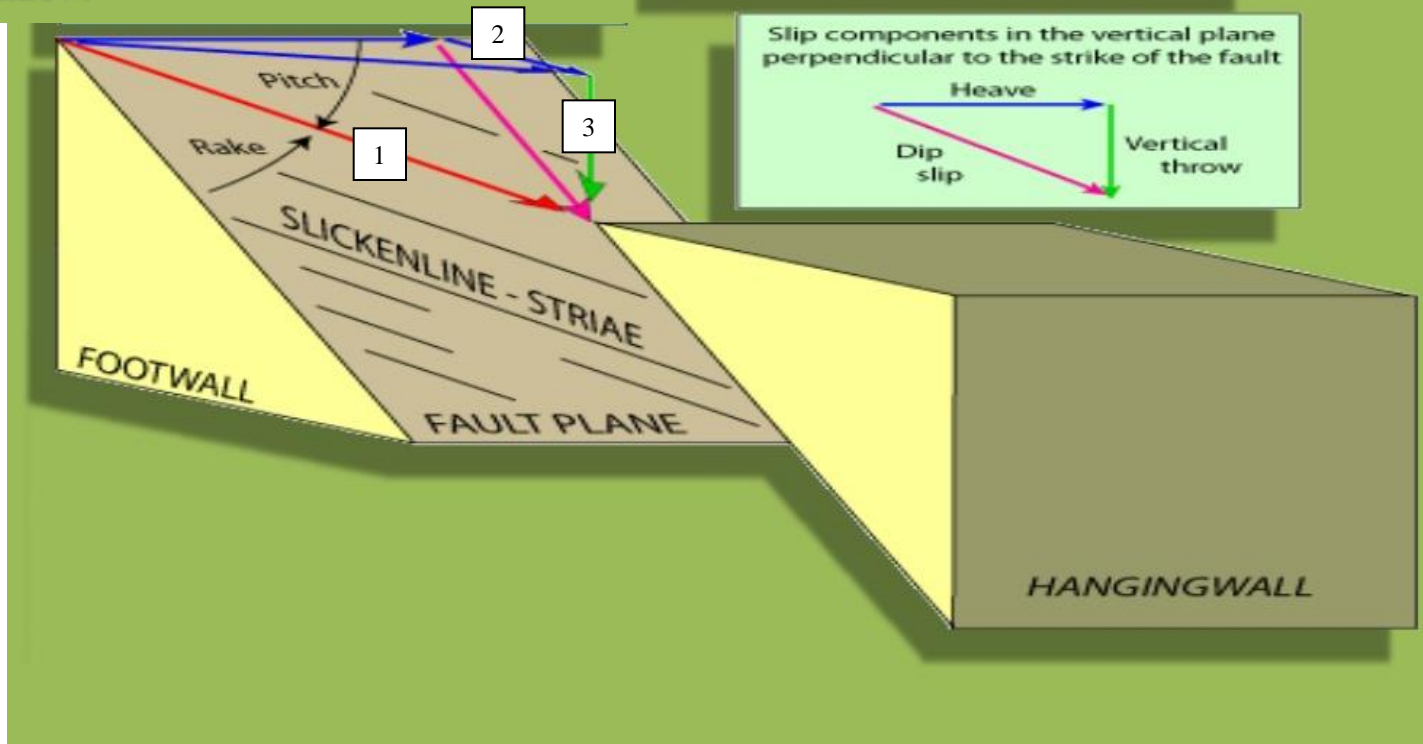
Slip components in the vertical plane perpendicular to the strike of the fault



Heave and Throw

Heave and Throw

- The **horizontal component of displacement** is called “**heave**” and the **vertical component of displacement** is called “**throw**”
- In vertical faults, there is only throw, but no heave. In horizontal faults, there is only heave, but no throw.



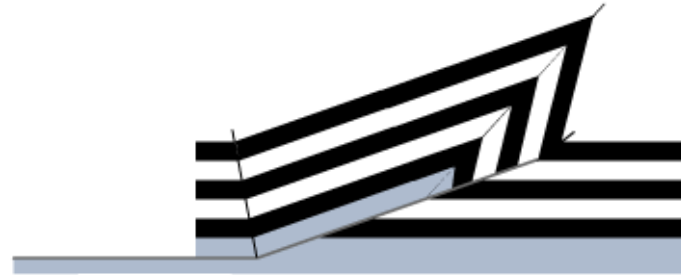
1. NET SLIP
2. HEAVE
3. THROW

Normal and reverse drag

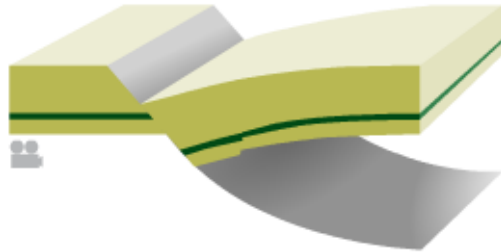
ARRASTRE NORMAL E INVERTIDO DEBIDO AL MOVIMIENTO DE UNA FALLA



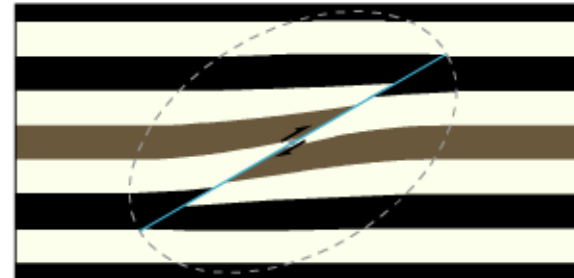
Normal fault with normal drag in hanging wall.



Normal drag along thrust (reverse) fault.



Reverse drag in the hanging wall of a listric normal fault. The drag fold is a rollover anticline.



Reverse drag associated with a reverse fault.

ASPECTOS GEOMETRICOS DE LAS FALLAS

1.- CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO GENERAL DE MOVIMIENTO

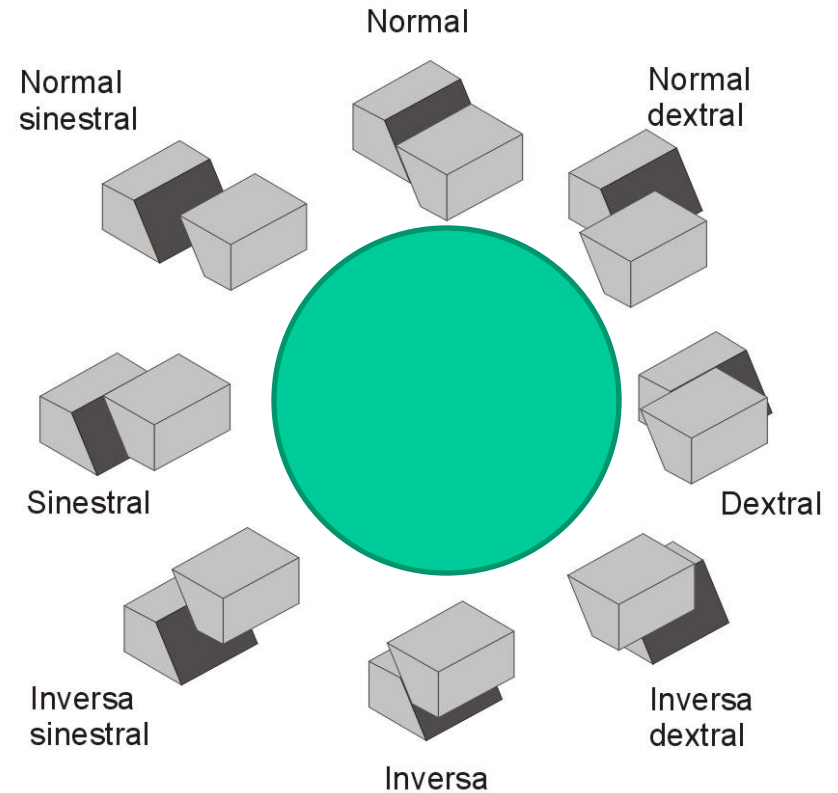
- FALLAS NORMALES, INVERSAS, TRANSCURRENTES (DEXTRALES, SINISTRALES) Y TRANSFORMANTES.

COMBINACIÓN DE LA NOMENCLATURA PARA FALLAS CON DESPLAZAMIENTO OBLICUO:

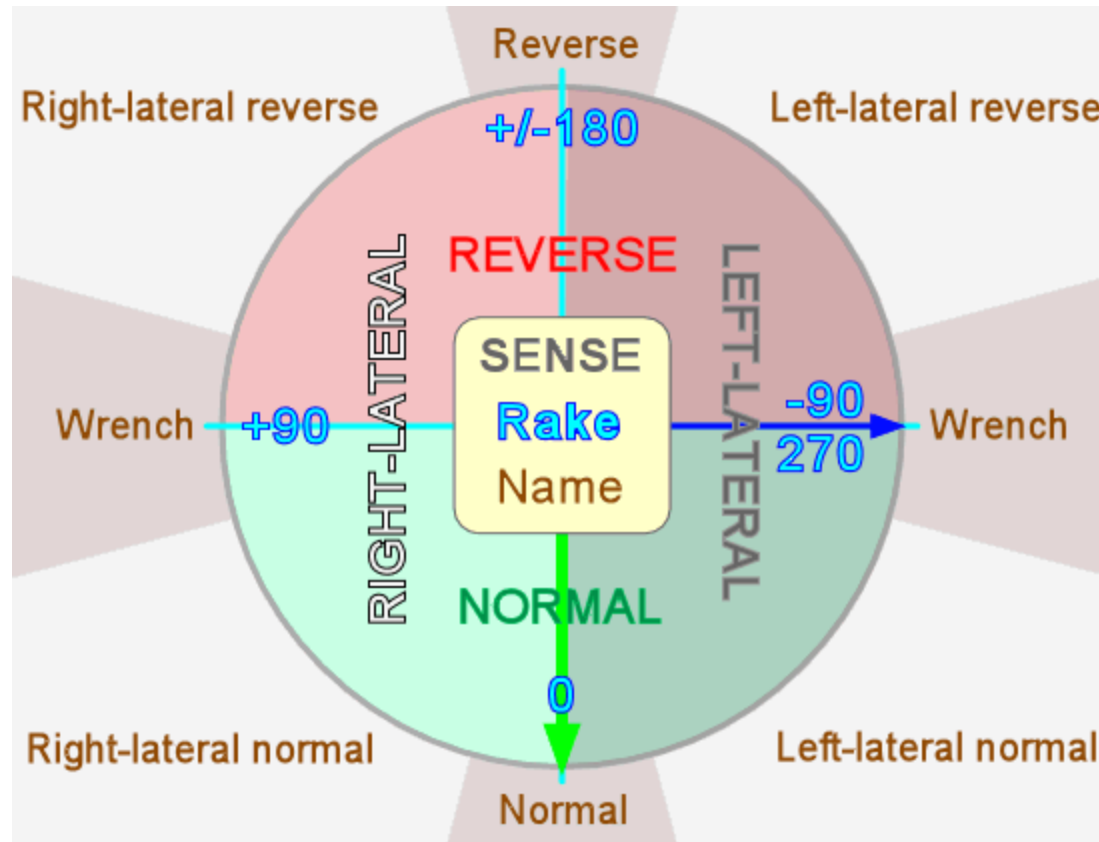
NORMAL DEXTRAL, NORMAL SINISTRAL, DEXTRAL INVERSA, SINISTRAL INVERSA.

SE UBICA EN PRIMER TÉRMINO LA COMPONENTE QUE PREDOMINA. EJEMPLO: UNA FALLA EXTENSIONAL CON 85° (BZTO.) Y 65° (RAKE) SERÁ: NORMAL DEXTRAL, MIENTRAS QUE UNA FALLA CON 85° (BZTO.) PERO CON 11° (RAKE) SERÁ DEXTRAL NORMAL, PORQUE EN ESTA ÚLTIMA LA COMPONENTE L MÁS IMPORTANTE QUE V EN LA PARTICIPACIÓN EN EL VECTOR DESPLAZAMIENTO TOTAL.

Nomenclatura de fallas



CLASIFICACIÓN DE FALLAS SEGÚN LA GEOMETRÍA DEL MOVIMIENTO



<http://www.naturalfractures.com/1.1.4.htm>

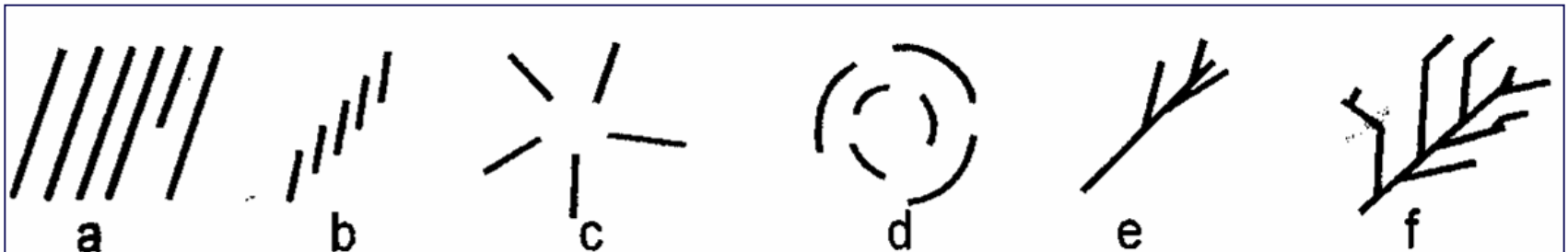
- CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PLANO

- VERTICALES (APROX. 90)
- SUBVERTICALES 80°-90°
- ALTO ÁNGULO (60°-80°)
- MODERADO ÁNGULO (30°-60°)
- BAJO ÁNGULO ((10°-30°)
- SUBHORIZONTALES (0°-10°)
- HORIZONTALES, TENDIDAS O DE SUELA (APROX. 0°)

- CLASIFICACIÓN SEGÚN EL DISEÑO

(GENERALMENTE REFIERE A UN CONJUNTO DE FALLAS)

- PARALELAS, EN ECHELON (EN ESCALÓN), RADIALES, PERIFÉRICAS O ANULARES, EN CUÑA, COLA DE CABALLO (HORSE TAIL; PREFERENTEMENTE A ESCALAS MESO A MICROSCÓPICA





Izquierda: Fracturas con diseño en echelon. Dakota Fm., Rocky Mountains, USA

Derecha: Culminación de fracturas con diseño en "cola de caballo" (horse-tail), Cuchi Corral, San Luis

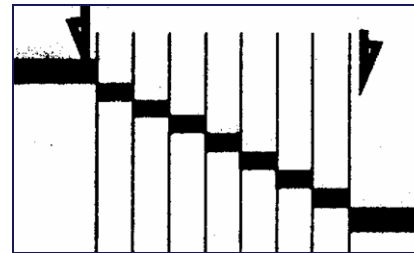
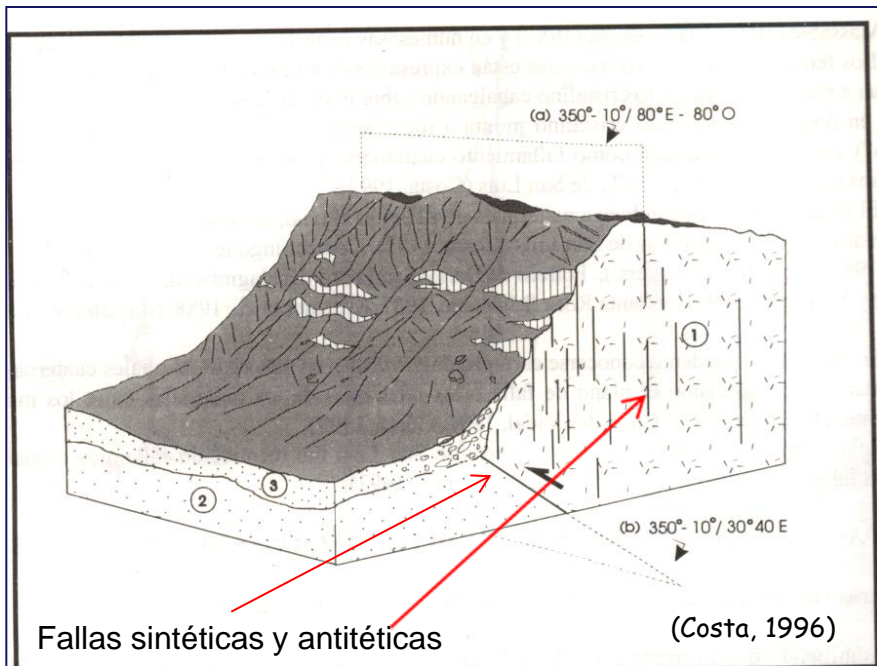
CRITERIOS DESCRIPTIVOS

En la descripción de campo (o eventualmente en imágenes aéreas), se trata de utilizar las modalidades de clasificación que sean más representativas para describir a las fallas. Ej.: Fallas dextrales inversas de alto ángulo con diseño escalonado.

Otras clasificaciones de fallas:

Fallas Sintéticas y Antitéticas: Refiere a la posición respecto al plano o los planos de falla/s principal/es.

Fallas Distributivas: El desplazamiento se distribuye a través de numerosos planos paralelos.



Fallas distributivas

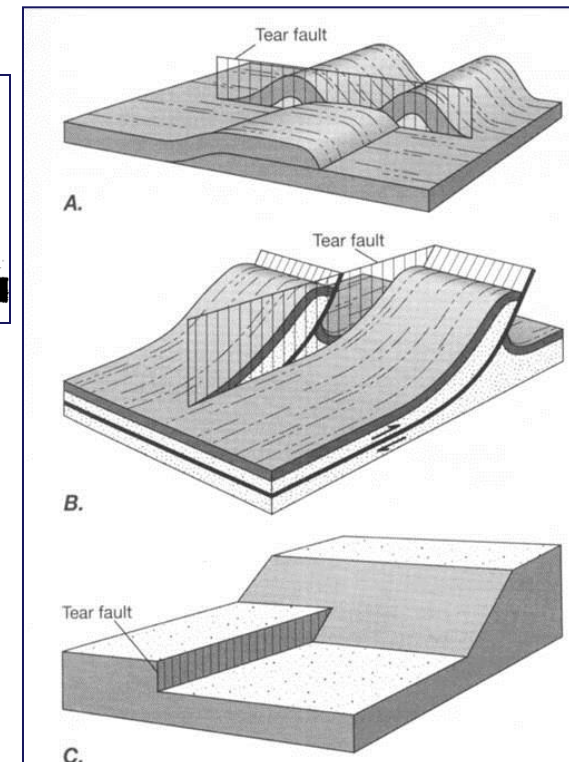
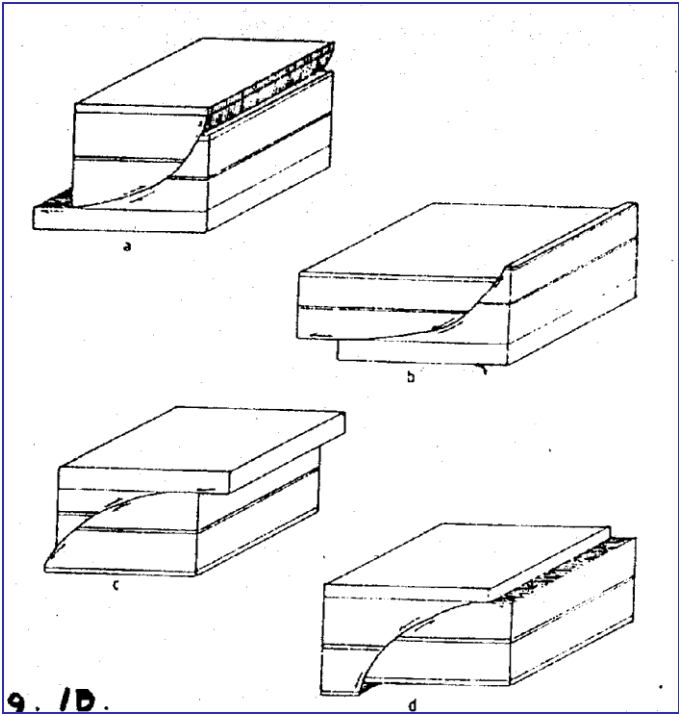
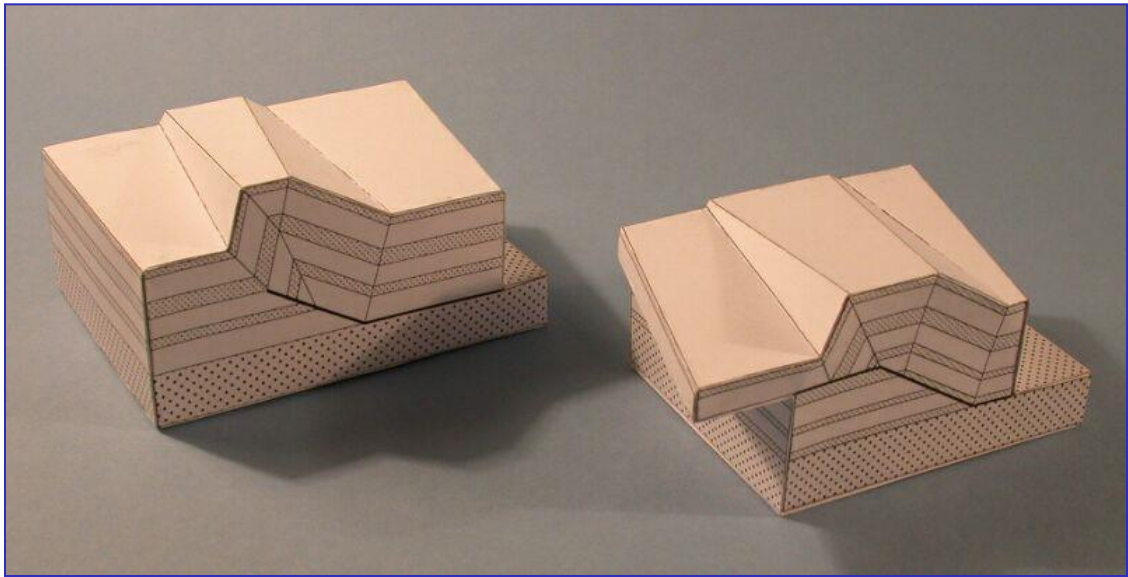


Figure 6.13 Thrust sheets segmented by tear faults. A. Shortening is accommodated by thrusting on one side of a tear fault and by folding on the other. B. Two noncoplanar imbricate thrusts are connected by a tear fault. C. Two segments of a thrust fault surface, each at a different structural level, are connected by a vertical sidewall ramp, or tear fault.

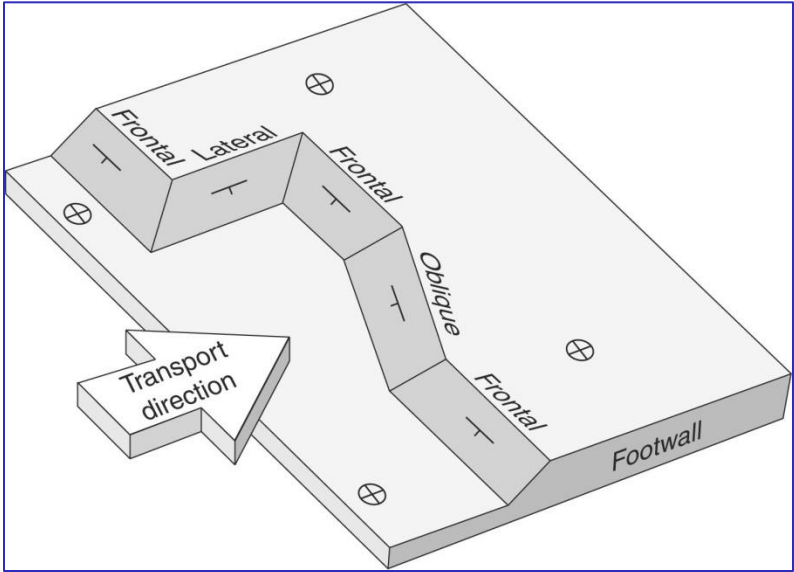
Falla de desgarre: >>>>

(Tear fault) Asociada a los mantos de plegamiento y corrimiento

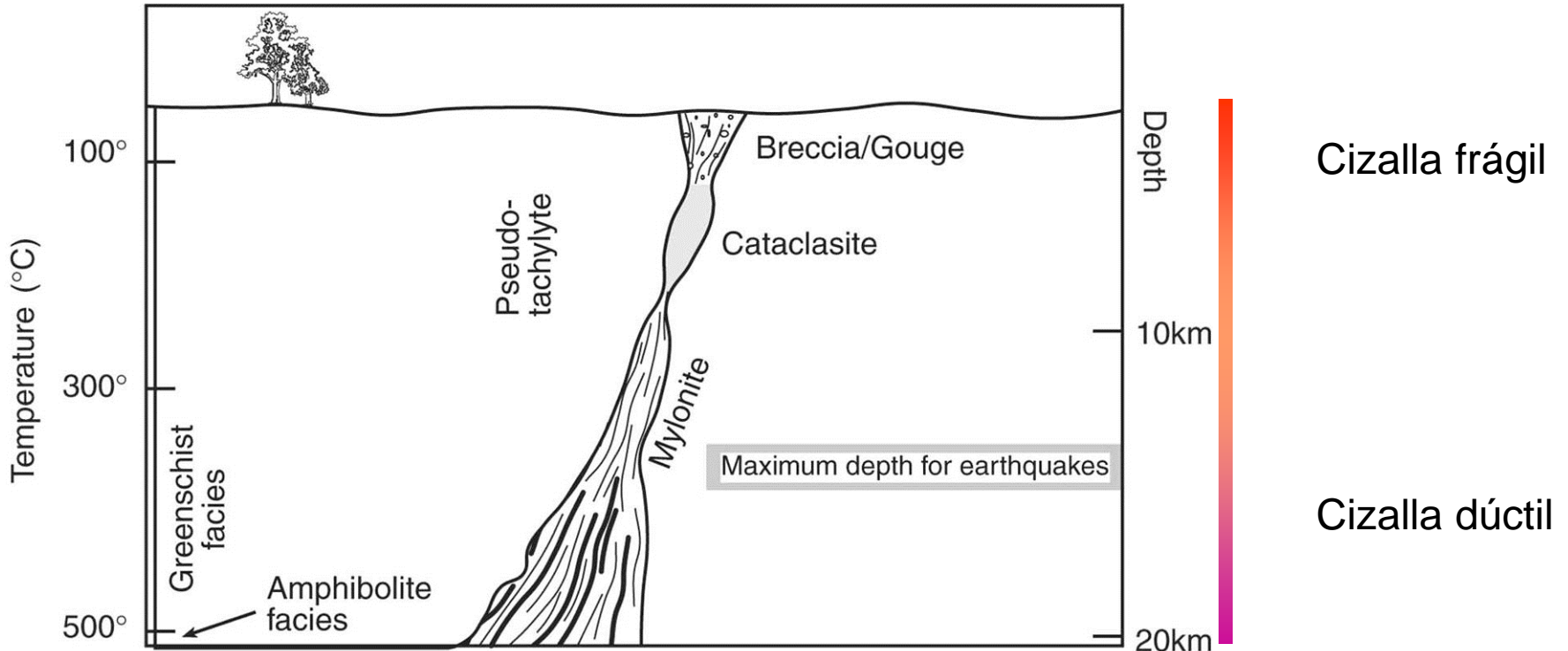
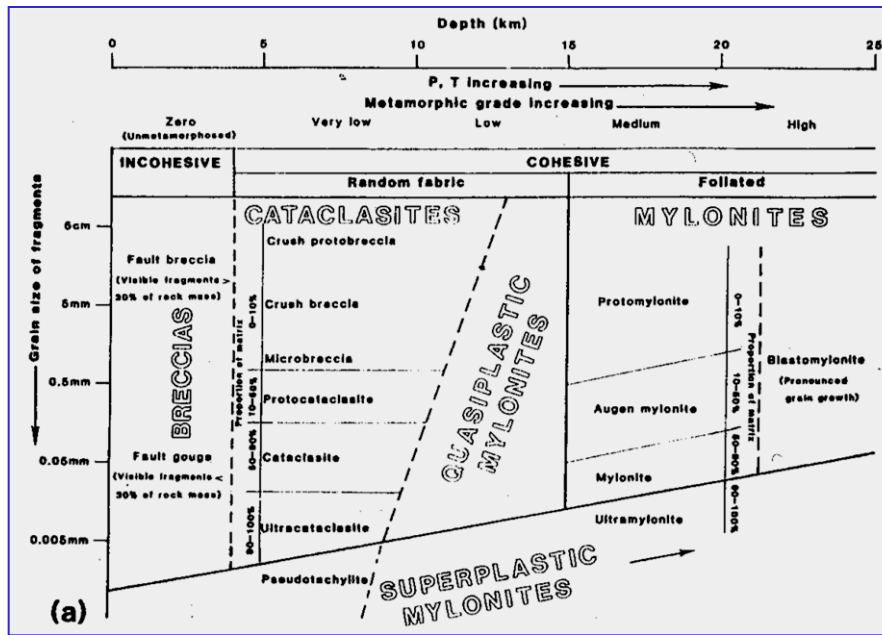
FALLAMIENTO EN RAMPAS: VARIACIÓN ABRUPTA EN LA ANGULARIDAD DE UNA FALLA HORIZONTAL O SUBHORIZONTAL. LOS SEGMENTOS "APILADOS" CONSTITUYEN RAMPAS TECTÓNICAS (TEMA 11).



Fallas Lísticas: Fallas con superficie curva



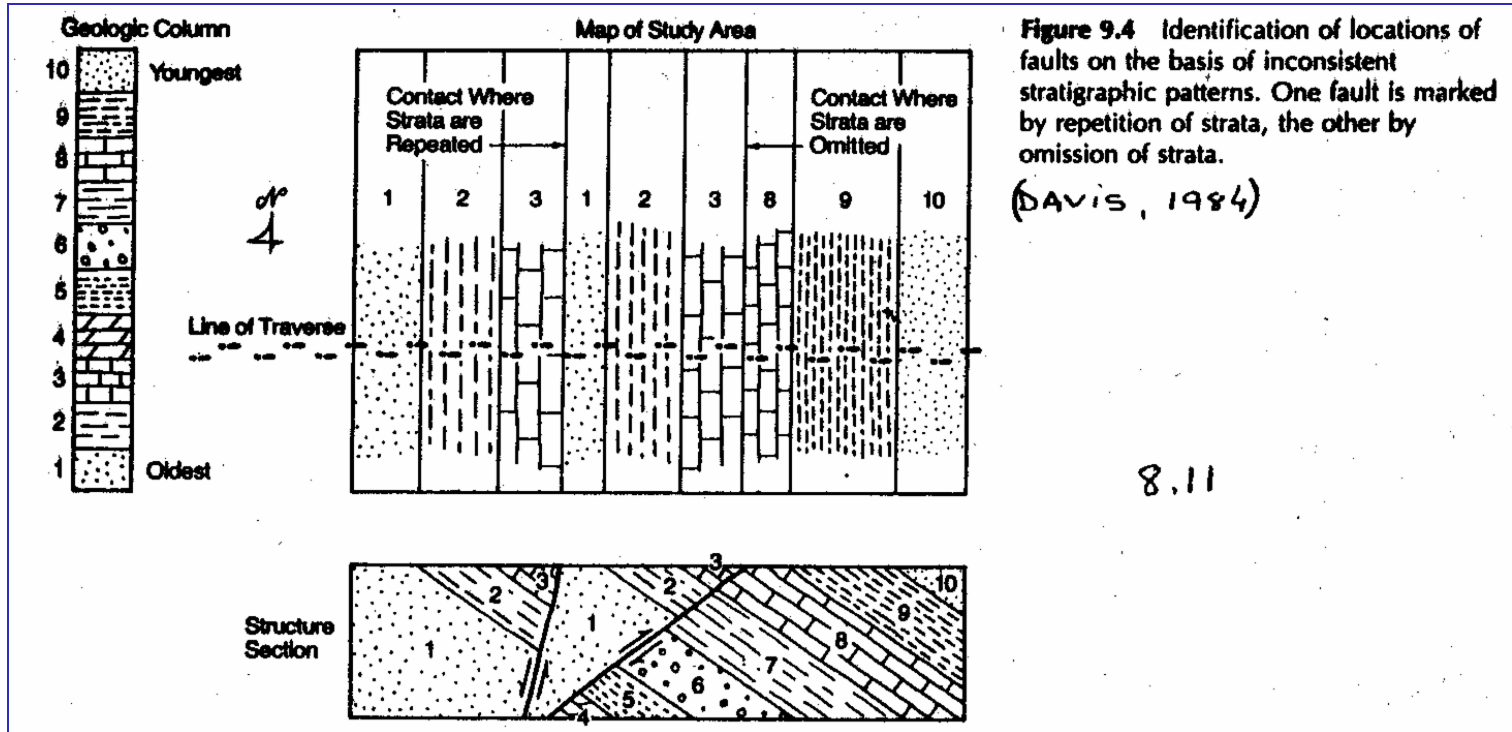
Tipos de Rampas



RECONOCIMIENTO DE FALLAS

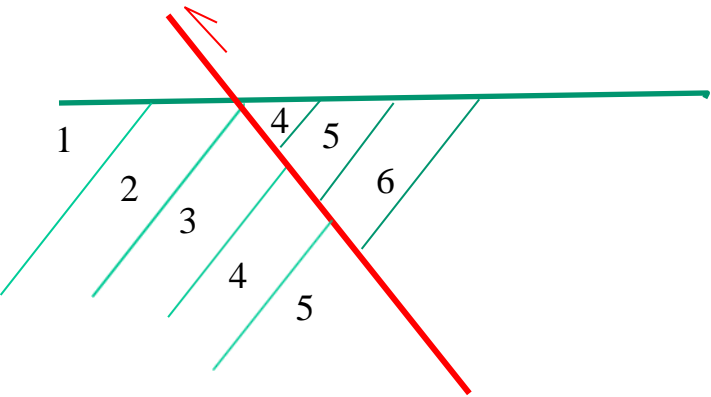
1. A ESCALA MACRO-MEGASCÓPICA

- * MAPAS GEOLÓGICOS (TOPOGRÁFICOS, ESTRUCTURALES)
- * GEOFÍSICA (SÍSMICA, GEOELÉCTRICA, MAGNETOMETRÍA, GRAVIMETRÍA)
- * IMÁGENES AÉREAS (ANÁLISIS DEL TERRENO)

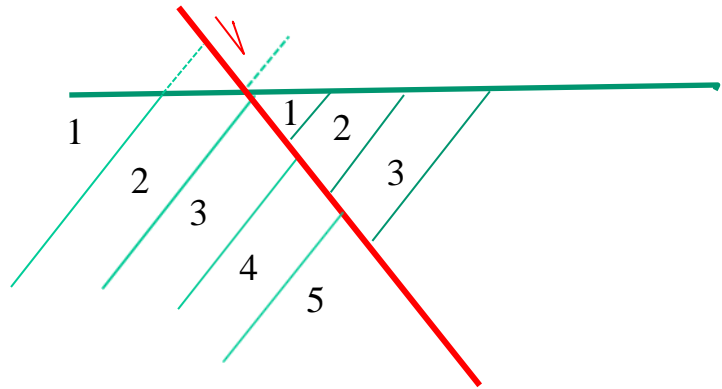


ALGUNOS POSIBLES CASOS DE REPETICIÓN-OMISIÓN DE ESTRATOS POR FALLAS

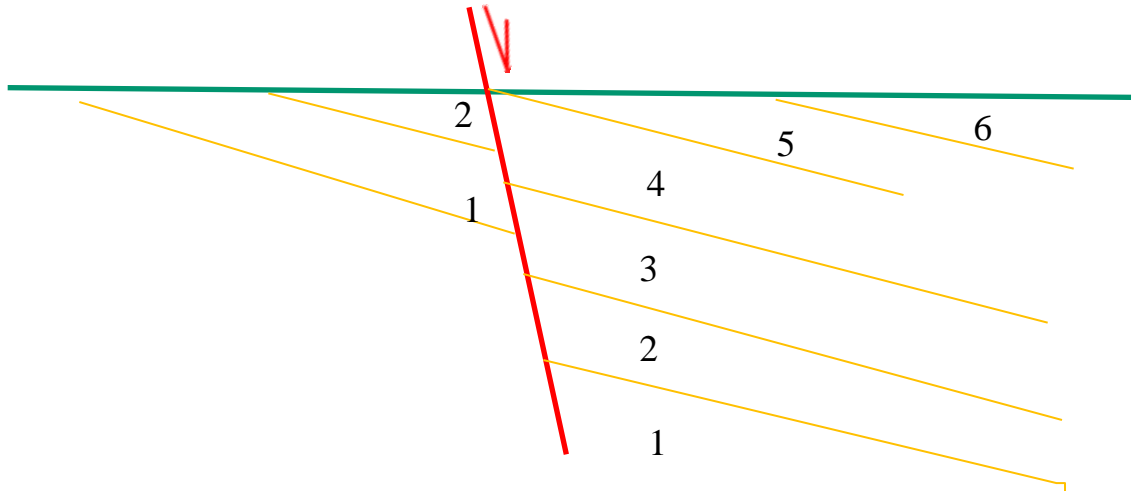
OMISIÓN DE ESTRATOS POR FALLAS INVERSAS

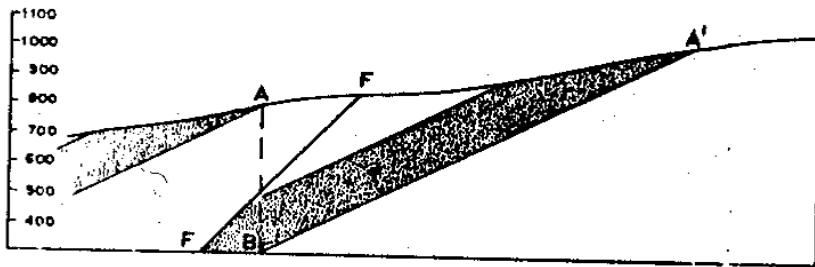
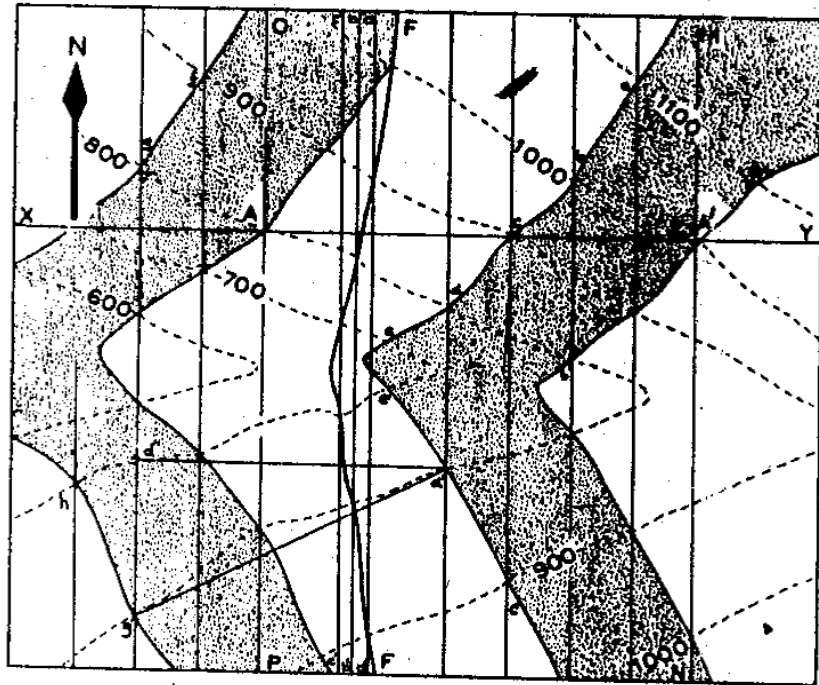


REPETICIÓN DE ESTRATOS POR FALLAS NORMALES



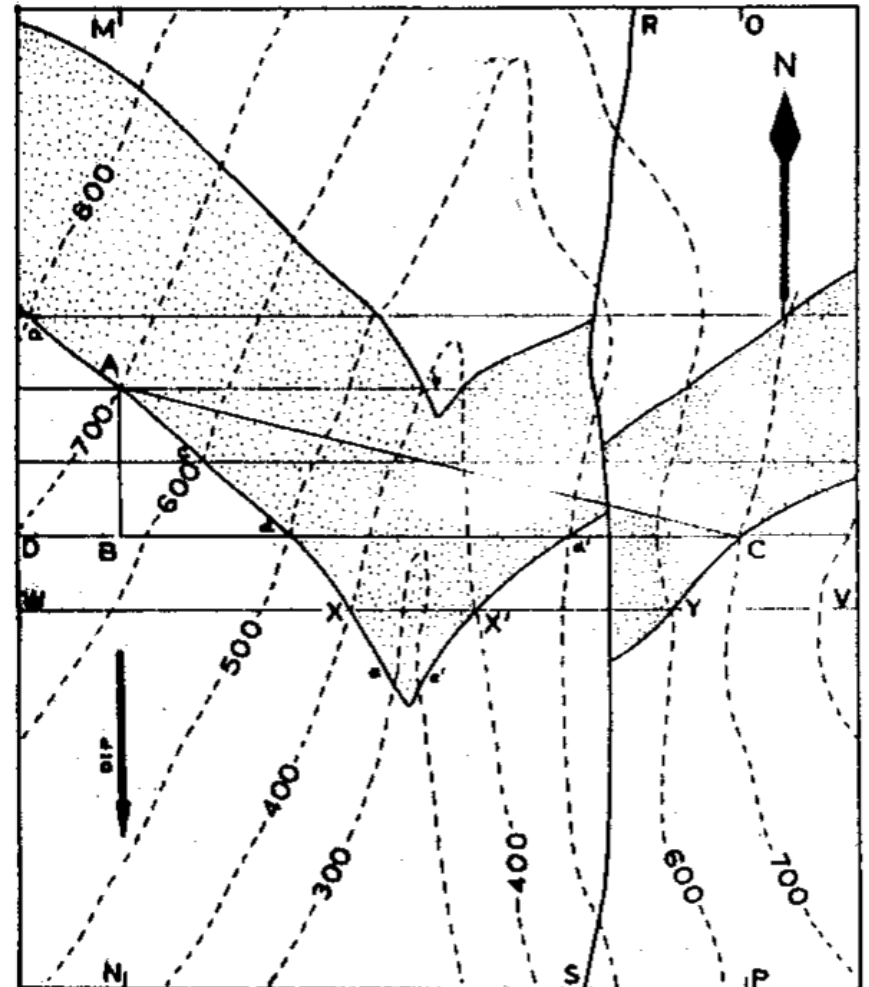
OMISIÓN DE ESTRATOS POR FALLAS NORMALES





VERTICAL AND HORIZONTAL SCALES 400 800 FEET

Repetición de estratos



VERTICAL AND HORIZONTAL SCALES 400 800 FEET

Desplazamiento transcurrente aparente



1.1 Evidencias geológicas

- . Discontinuidades litológicas: Repetición u omisión de estratos, terminación brusca o biselamiento de unidades, relaciones anómalas entre diferentes litozonas.
- . Discontinuidades estructurales
- . Potencias anormales de estratos (engrosamiento o adelgazamiento)
- . Variaciones bruscas en los niveles freáticos y alturas en las tablas de hidrocarburos
- . Diferentes presiones de fluidos en la explotación de hidrocarburos

Fenómenos con expresión semejante

Discordancias angulares, contactos intrusivos, estratificación entrecruzada.

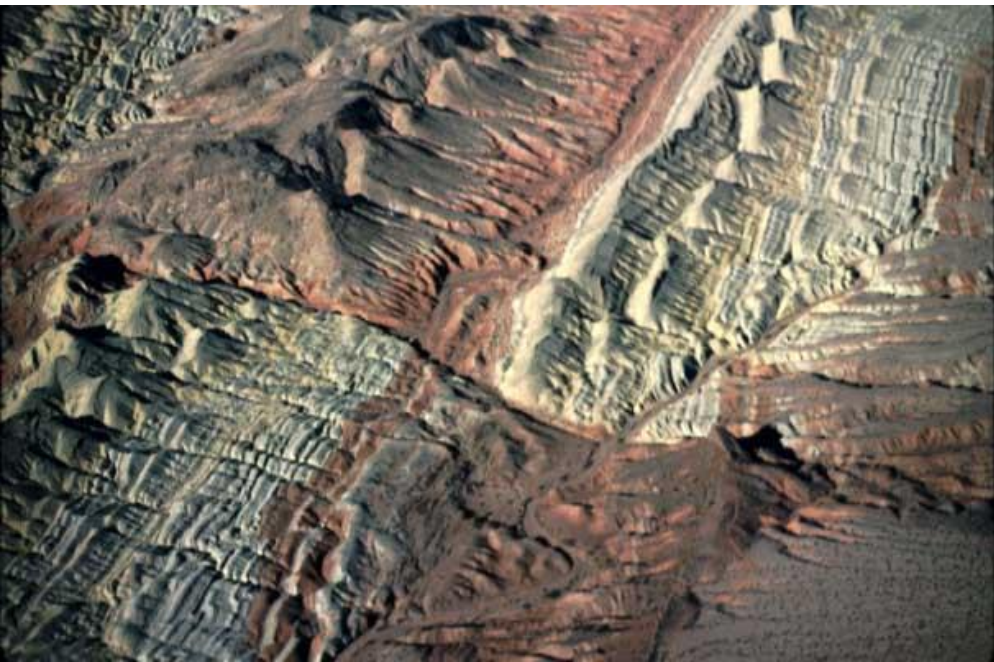
1.2 Evidencias geomorfológicas

Lineamientos, escarpas de falla, facetas/formas triangulares

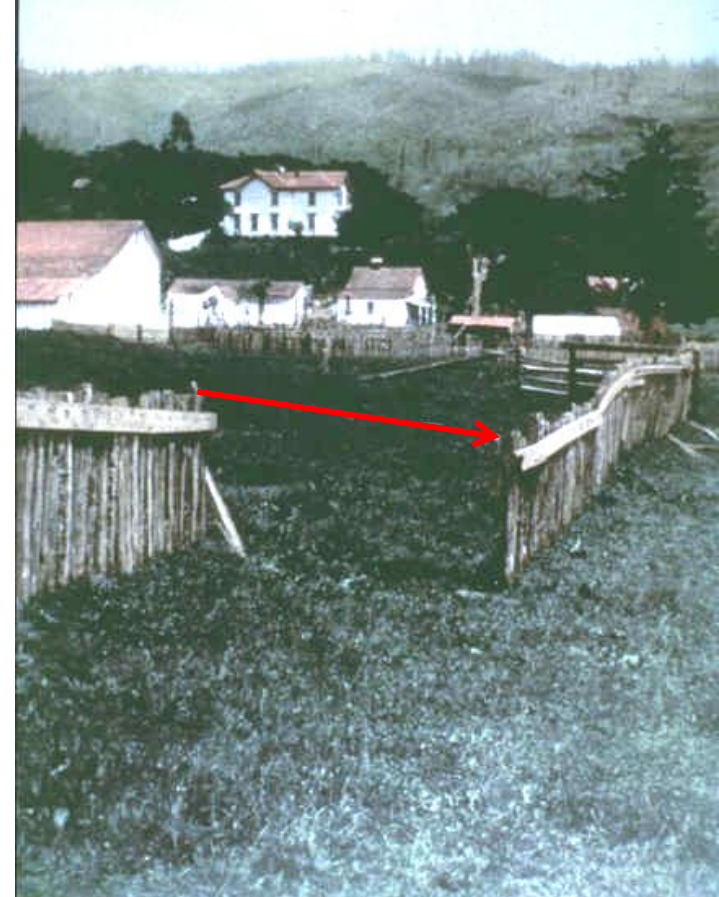
2. A escala meso-minisopica

Brechas y otros tipos de rocas cataclásticas, espejo de falla, jaboncillo, gouge, estrias de fricción, zonas de cizalla, estilolitos y sicolitos, brechas hidráulicas, caballos de piedra .

Estos elementos permiten reconocer la existencia de un plano o de una zona de fallas y en algunos casos la dirección de desplazamiento o el sentido del desplazamiento.



Determinación del vector de desplazamiento total



Styles of Faulting

Thrust Fault

Normal Fault

1.2 Evidencias geomorfológicas

Lineamientos, escarpas de falla, facetas/formas triangulares



Izq.: Lineamiento y escarpa de falla, La Rinconada, San Juan
Der.: Facetas triangulares, Mt. Springs, USA.

INDICADORES DEL SENTIDO DE MOVIMIENTO DE FALLAS

INDICADORES MICROSCÓPICOS

Texturas metamórficas, deformación de minerales

INDICADORES MINISCÓPICOS

Morfologías asociadas a los planos de falla y zonas de fracturas (estrías, estilolitos, marcadores, fracturas Riedel, grietas sigmoidales, etc), Desplazamientos estratigráficos, arrastres y flexuras, clastos/blastos deformados

INDICADORES MESOSCÓPICOS

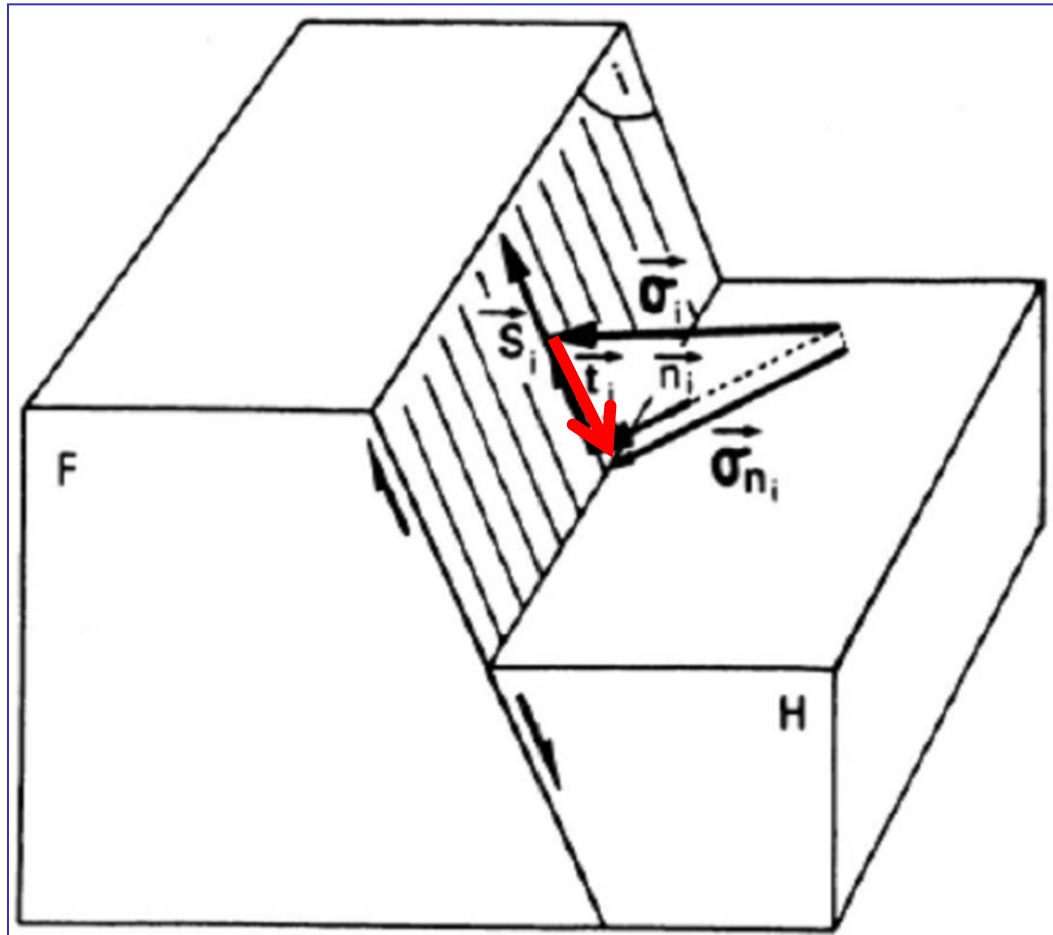
Zonas de cizalla, Fracturas Riedel, grietas sigmoidales, Desplazamientos estratigráficos, arrastres y flexuras

INDICADORES MACROSCÓPICOS

Indicadores geomorfológicos (Drenajes desplazados, facetas triangulares, lomos de obturación, pliegues escalonados, flexuras monoclinales, etc)

Indicadores geológicos (desplazamientos estratigráficos, geometría de la fracturación secundaria-Riedels, etc)

INDICADORES CINEMÁTICOS DE CIZALLA FRÁGIL
DETERMINACIÓN DEL SENTIDO DE MOVIMIENTO EN UN PLANO DE FALLA



Algunas morfologías en el plano de fractura que
no indican sentido de movimiento

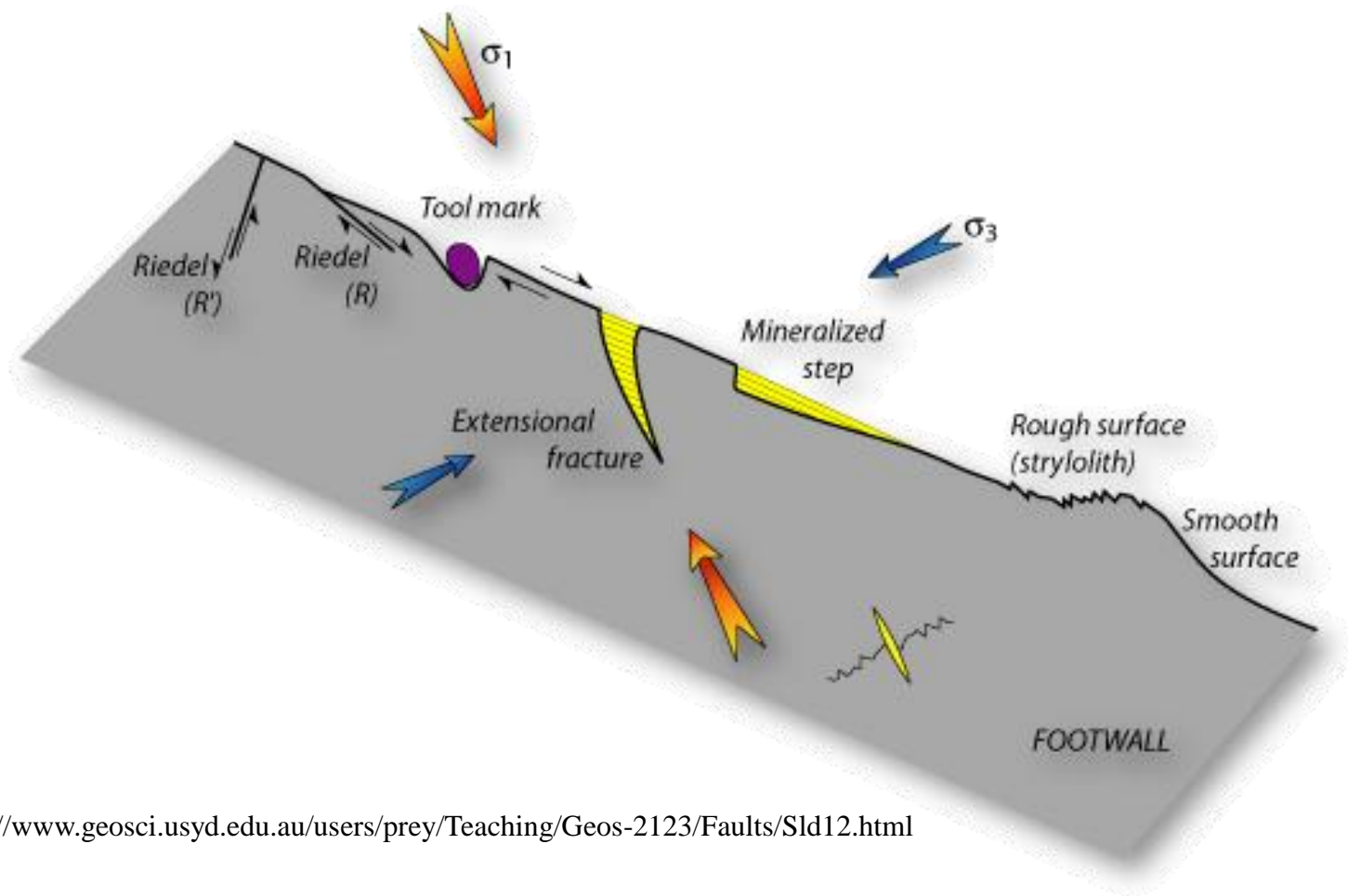


Espejos de fricción. Migmatitas, Co. Guayaguas, San Juan

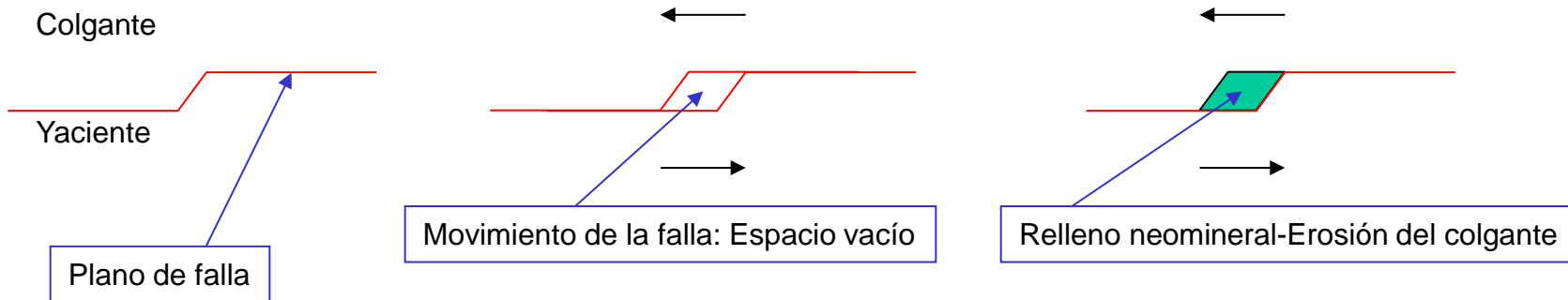


Surcos (grooves). Gneises, Paleozoico. Venezuela
Foto: A. Singer

MORFOLOGÍAS DEL PLANO DE FALLA QUE PUEDEN INDICAR SENTIDO DE MOVIMIENTO -INDICADORES CINEMÁTICOS-

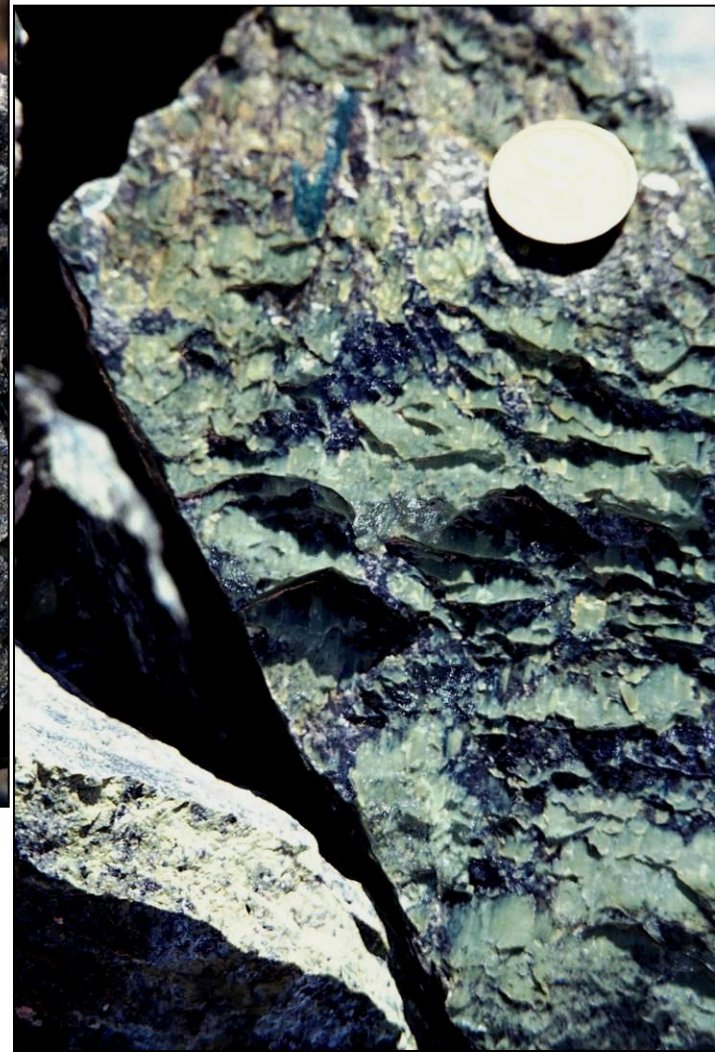


Escalones y nervios minerales





Nervios minerales con neomylonización silíceo.
Rocas metamórficas en la cuenca del Tuy, Venezuela

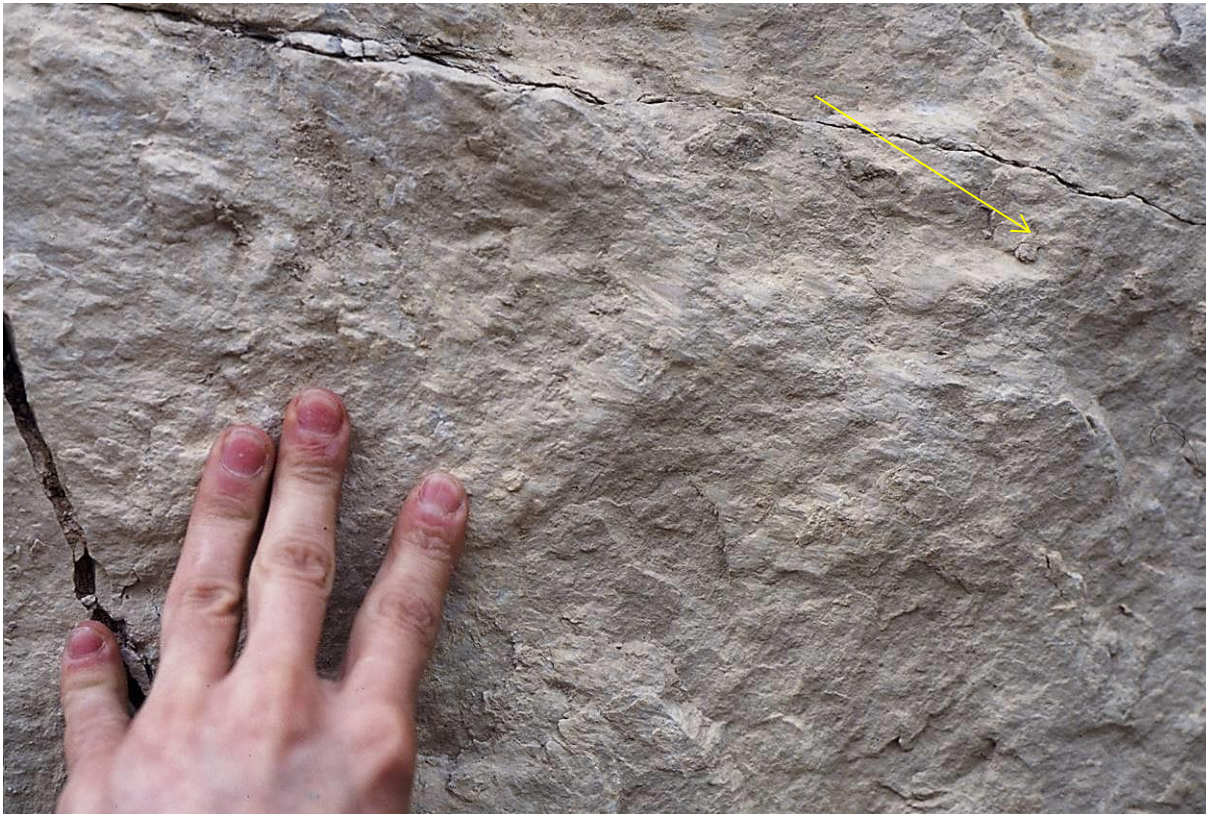
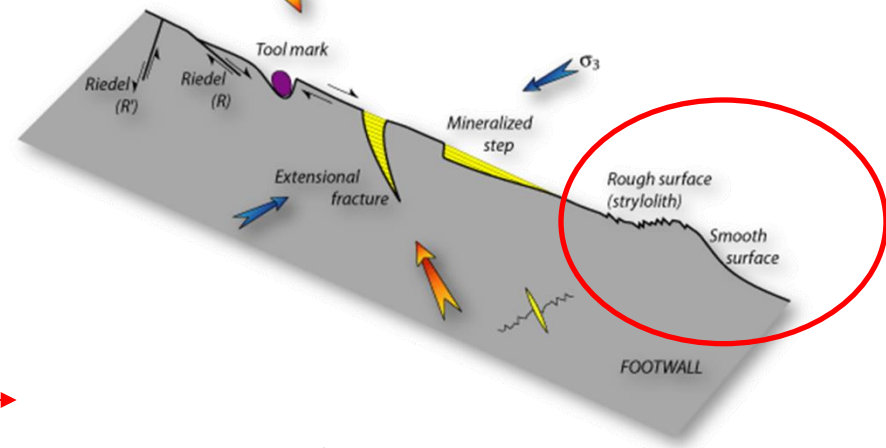


Uspallata, Mendoza

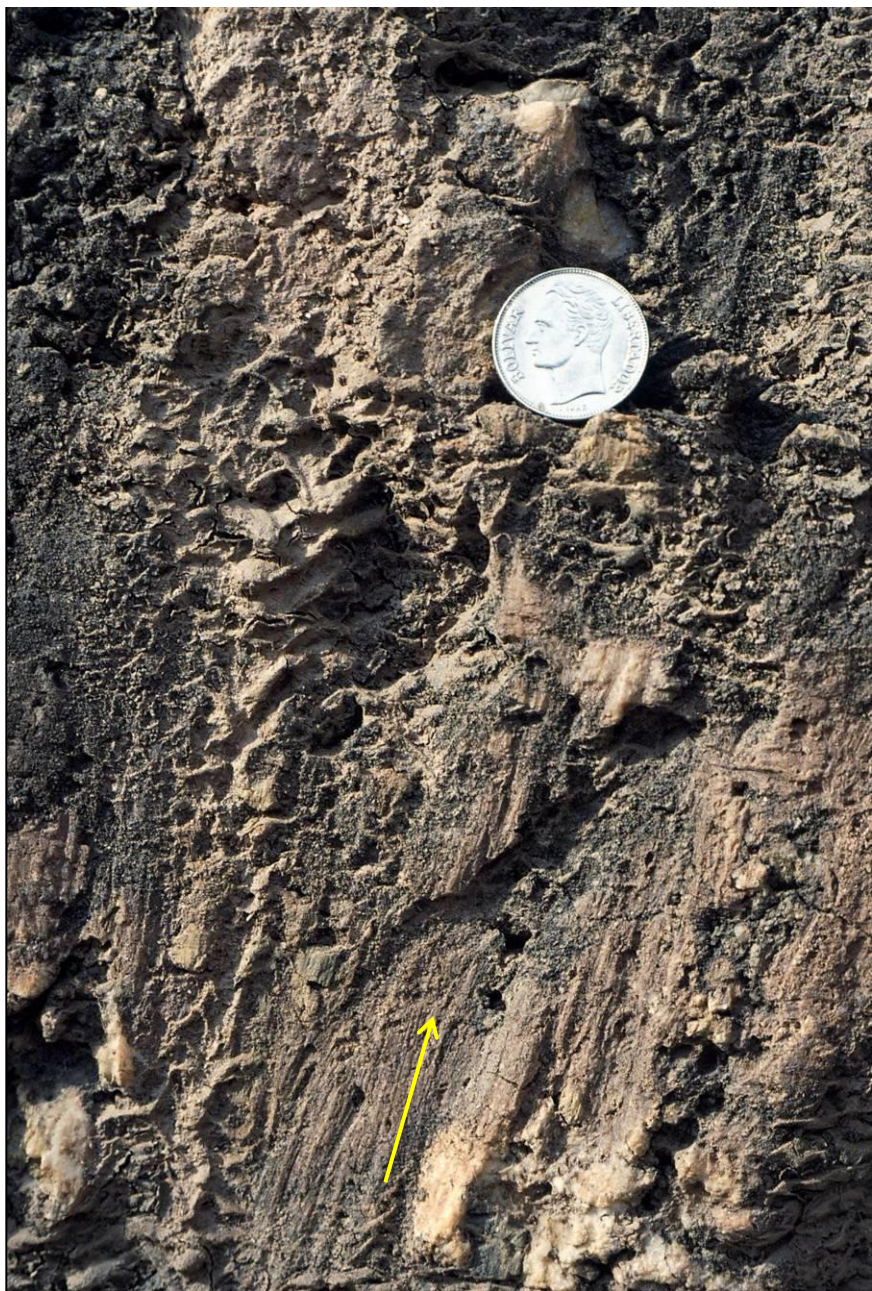


HOMBROS REDONDEADOS VS. HOMBROS RECTOS

Sentido de movimiento



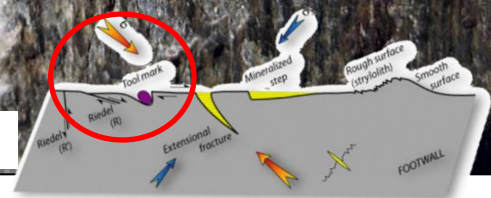
TOOL MARKS - ESTRUCTURAS EN COMETA – SOMBRAS DE PRESIÓN CLASTOS HINCADOS



Areniscas K., Colombia



Filitas, La Florida, San Luis



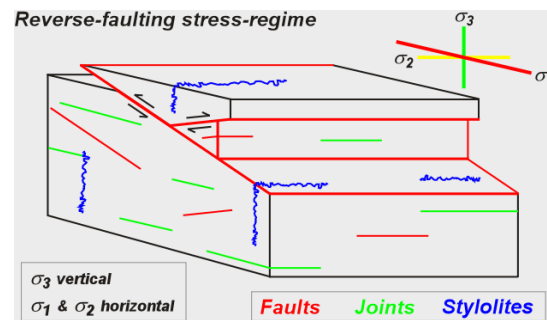
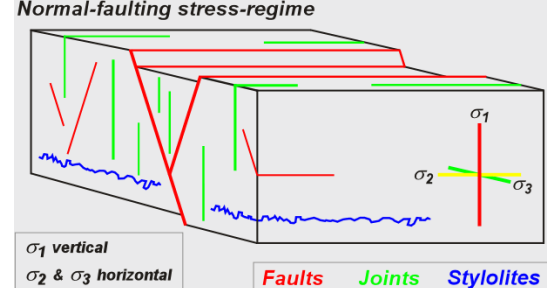
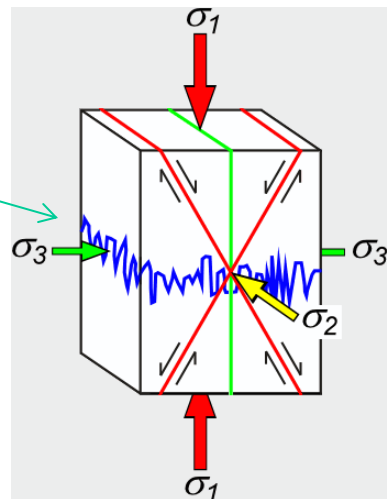


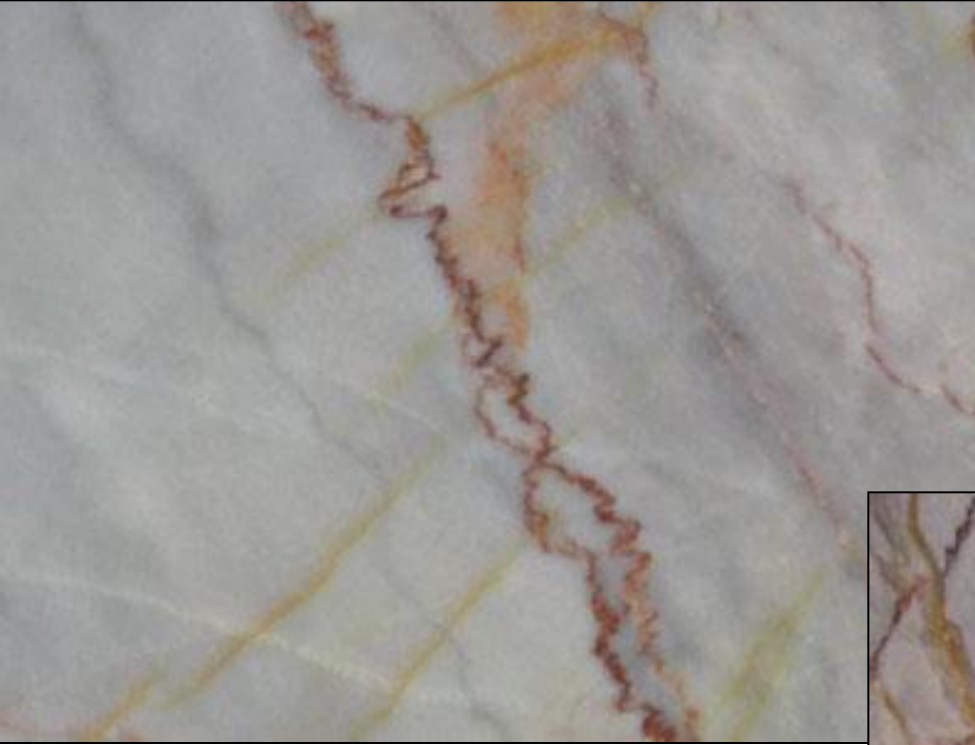
Estrías glaciares. Helsinki, Finlandia



Estrías glaciares, Nevado del Ruiz, Colombia

Estilolitos
Estructuras de presión disolución





JUNTAS ESTILOLÍTICAS VISTAS EN UN
PLANO PERPENDICULAR A LA
DIRECCIÓN DE Σ_1

Evidencias Geológicas de fallamiento

ZONAS DE CIZALLA:

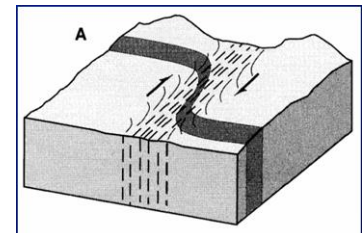
FRÁGIL
DÚCTIL
SEMI-FRÁGIL
FRÁGIL-DÚCTIL

Controlling Factors

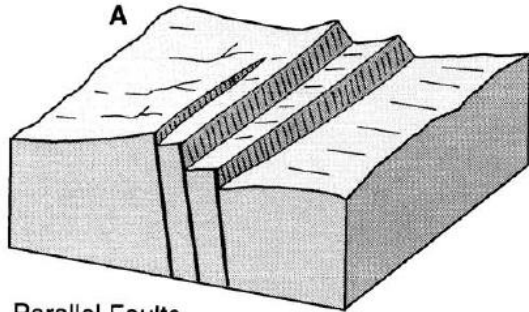
	Brittle	Ductile
Temperature	Cooler	Hotter
Pressure	Lower	Higher
Strain Rate	Higher	Lower
Fluid Pressure	Lower	Higher

• Also mineralogy and grain size

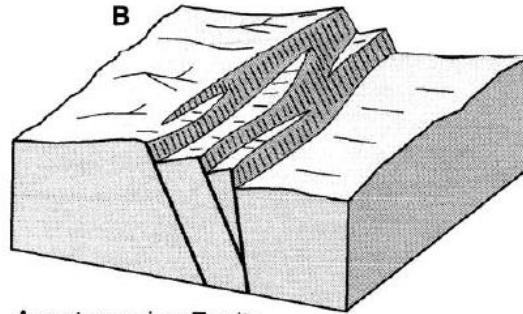
Todas las fallas son zonas de cizalla, pero no todas las zonas de cizalla son fallas



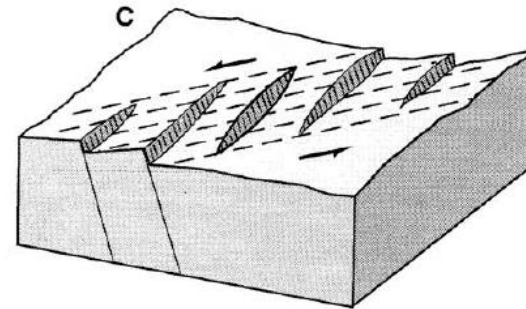
ZONAS DE CIZALLA/DEFORMACIÓN FRÁGILES



Parallel Faults



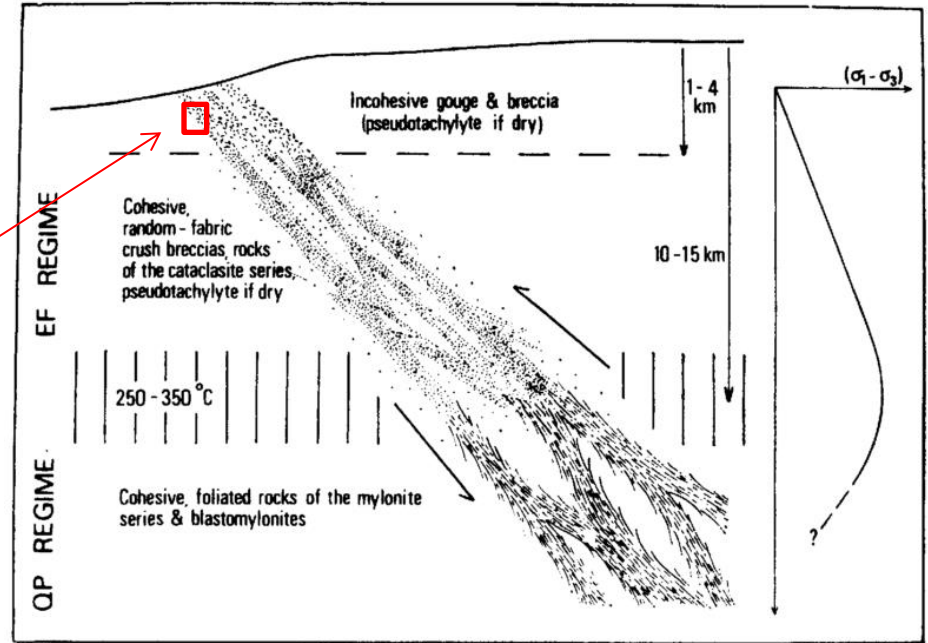
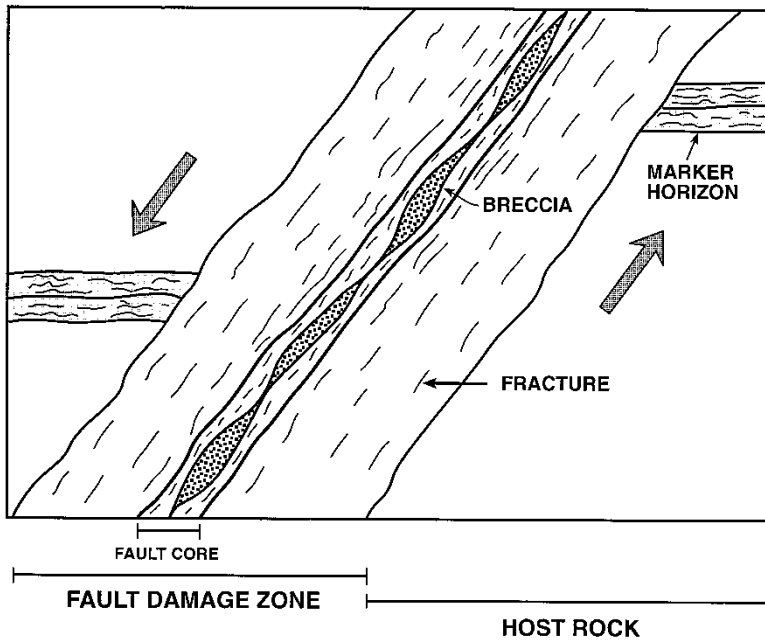
Anastomosing Faults



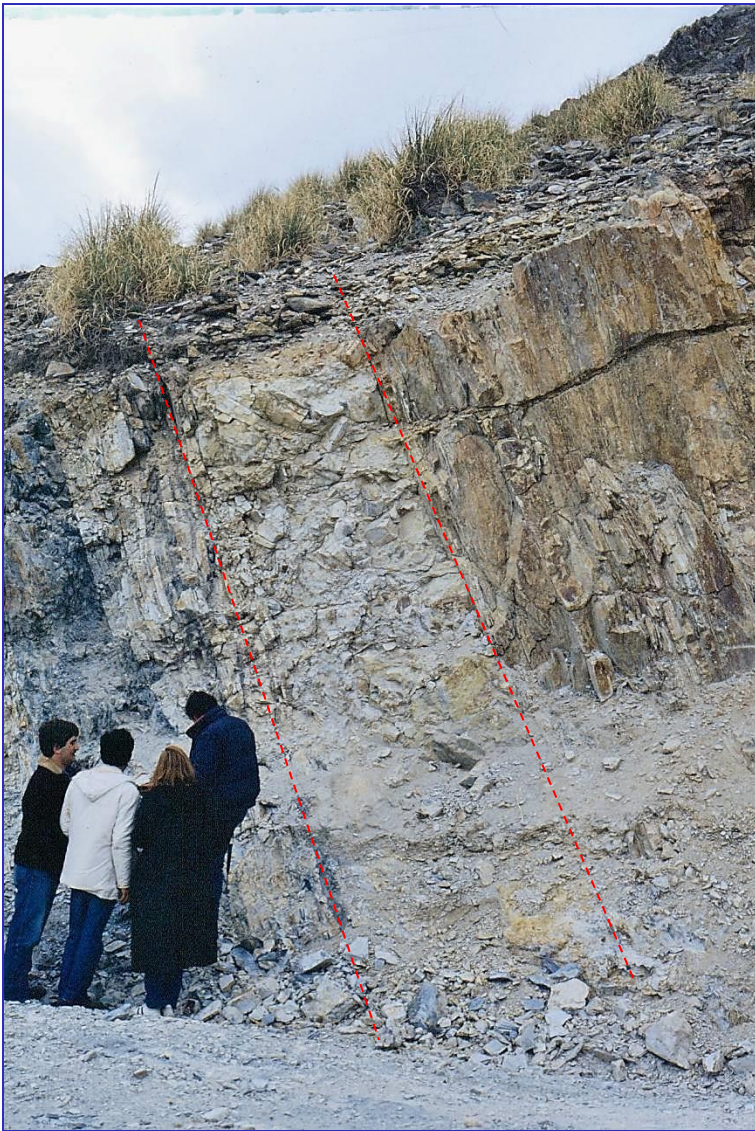
En Echelon Faults



SEGÚN GRADO DE MOLIENDA DEL MATERIAL:
BRECHAS DE FALLA
JABONCILLO-HARINA DE FALLA
PSEUDOTAQUILITAS



<https://structuredatabase.files.wordpress.com/2014/08/screen-shot-2014-08-18-at-3-29-43-pm.png>



BRECHAS DE FALLA

Izquierda: Cerro Tomolasta, San Luis

Derecha: Calizas Fm San Juan, Pachaco, San Juan.

FAULT GOUGE:

Jaboncillo de falla (si está húmedo)

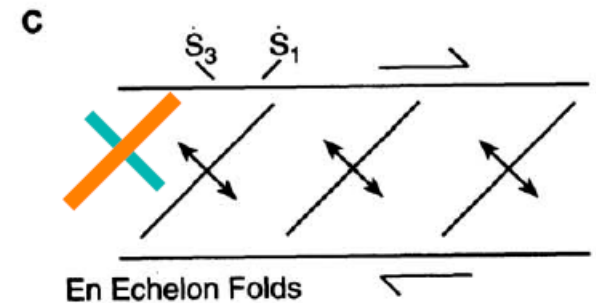
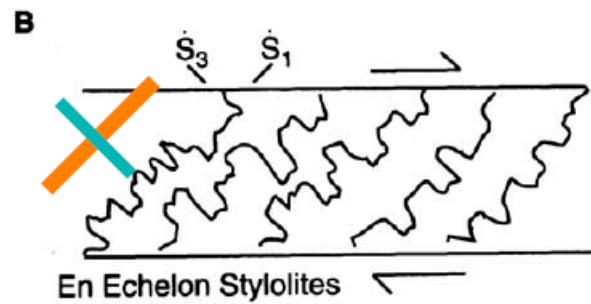
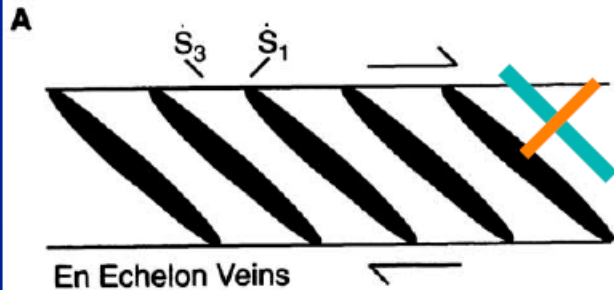
Harina de falla (si está seco)



<http://geologypics.com/fault-gouge-cretan-detachment-greece/>

<http://geologypics.com/geological-item/brittle-structures-photos/>

ZONAS DE CIZALLA SEMI-FRÁGILES



\dot{s}_1 - axis of maximum instantaneous stretching



\dot{s}_3 - axis of maximum instantaneous shortening



Lutitas Pz Inferior
Quebec, Canadá

INDICADORES CINEMÁTICOS EN
ZONAS DE CIZALLA SEMI-FRÁGIL:
GRIETAS SIGMOIDALES

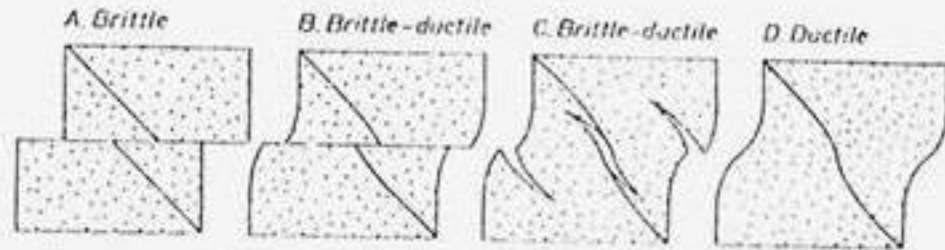
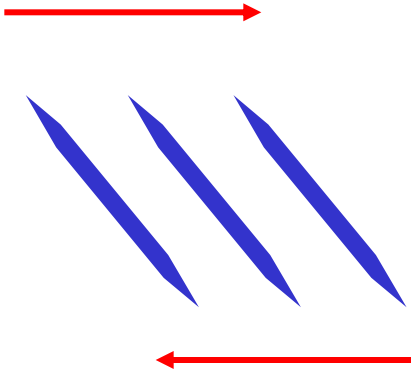


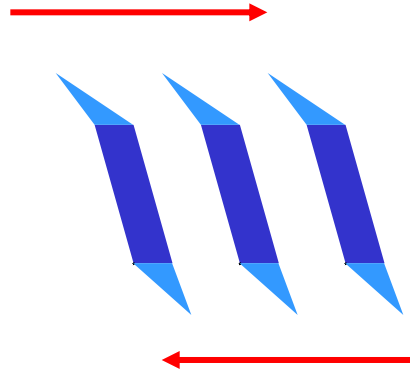
Figure 26.1. Different types of shear zones.

GENERACIÓN Y SIGNIFICADO CINEMÁTICO DE LAS GRIETAS SIGMOIDALES

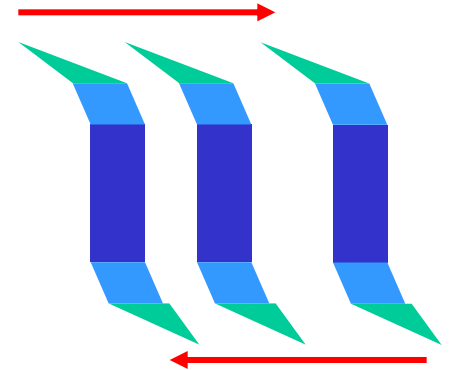
- . Deformación semi-frágil
- . Patrones tipo Riedel
- . Apertura de grietas con eje mayor perpendicular al eje de máxima extensión
- . Neomineralización en espacios abiertos
- . N etapas de apertura y relleno de grietas según eventos discretos y/o apertura continua



PRIMERA ETAPA
Apertura de grietas
perpendiculares al eje de
máxima extensión



SEGUNDA ETAPA
Rotación y nueva apertura
de grietas preexistentes
Apertura segunda
generación de grietas
perpendiculares al eje de
máxima extensión



TERCERA ETAPA
Rotación y nueva apertura de las
dos generaciones de grietas
preexistentes
Apertura tercera generación de
grietas perpendiculares al eje de
máxima extensión

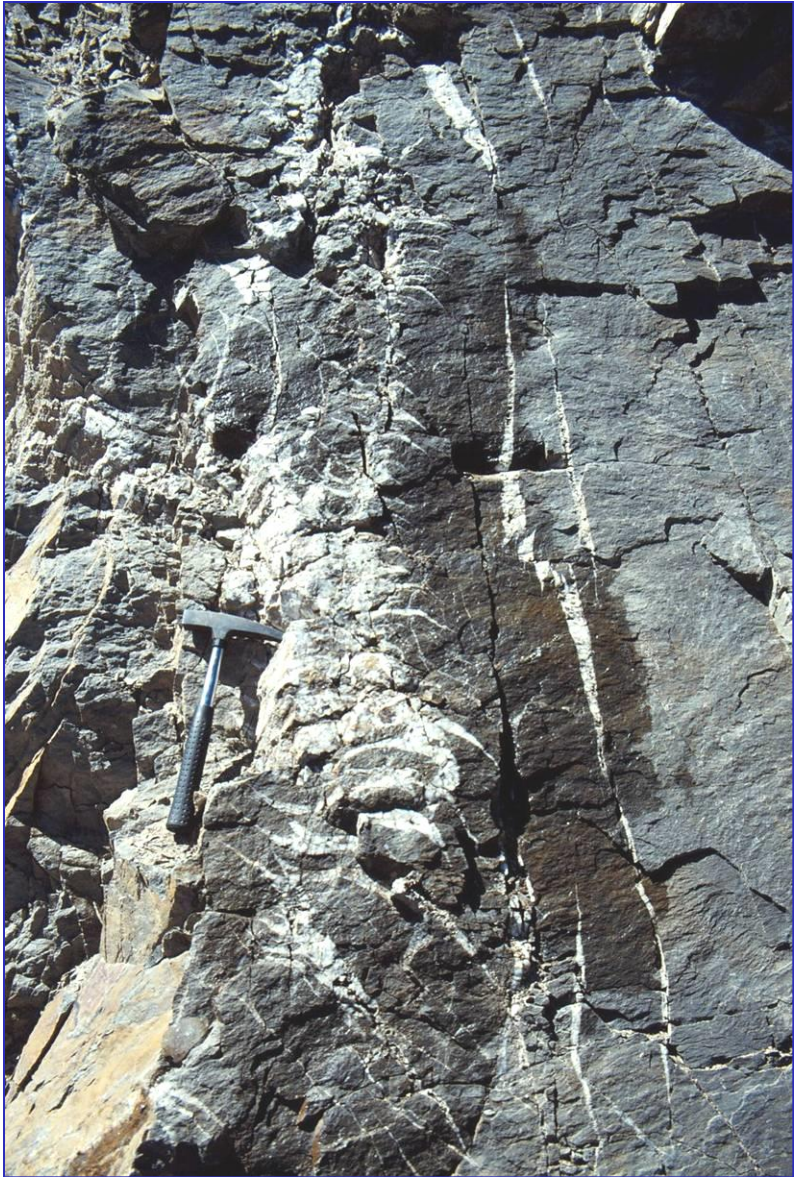
Grietas Sigmoidales desarrolladas por cizalla semi-frágil



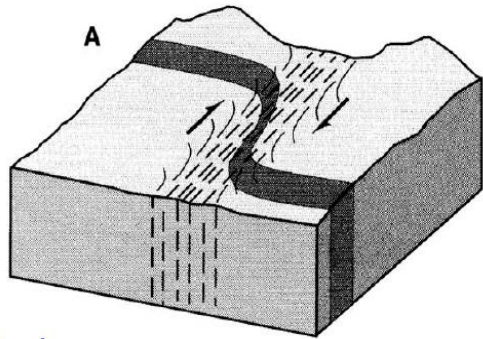
Fm. Luisa, Triásico. Colombia

Grietas Sigmoidales desarrolladas por cizalla semi-frágil

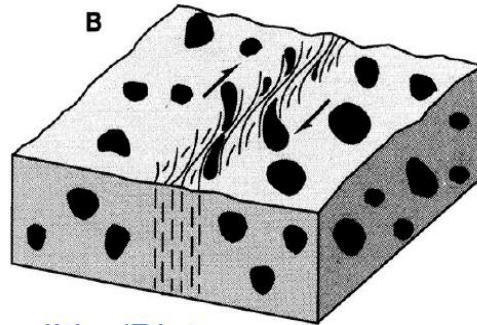
Fm. Alcaparrosa
Calingasta



ZONAS DE CIZALLA DÚCTILES

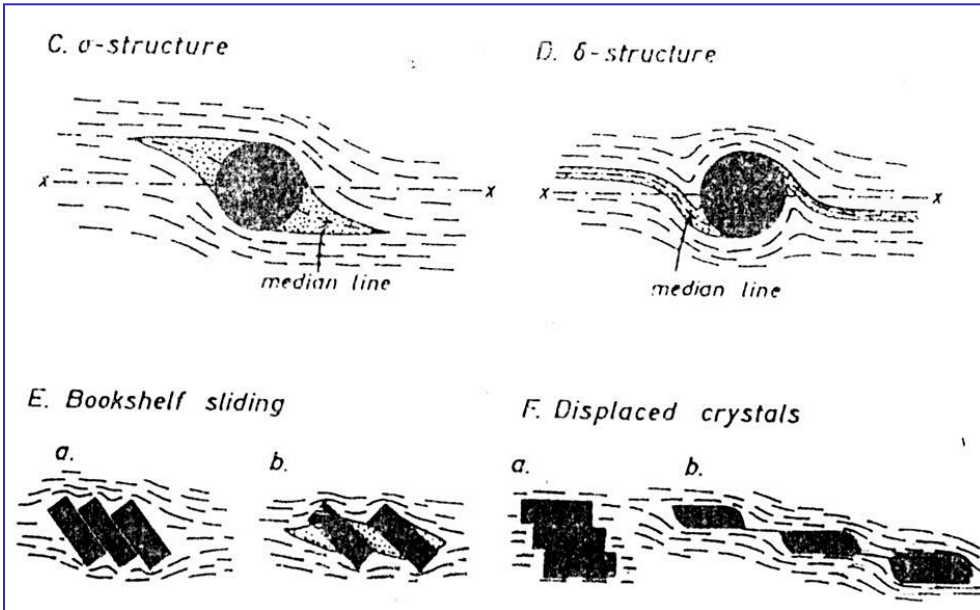


Markers



Xenoliths/Plutons



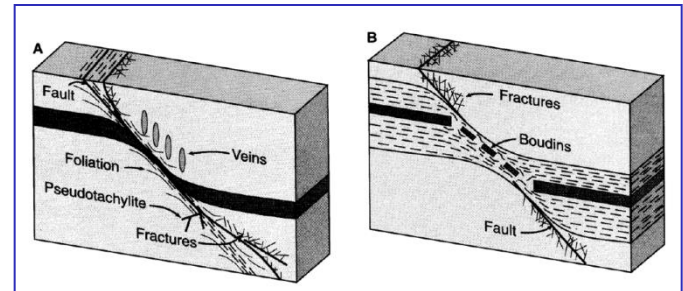
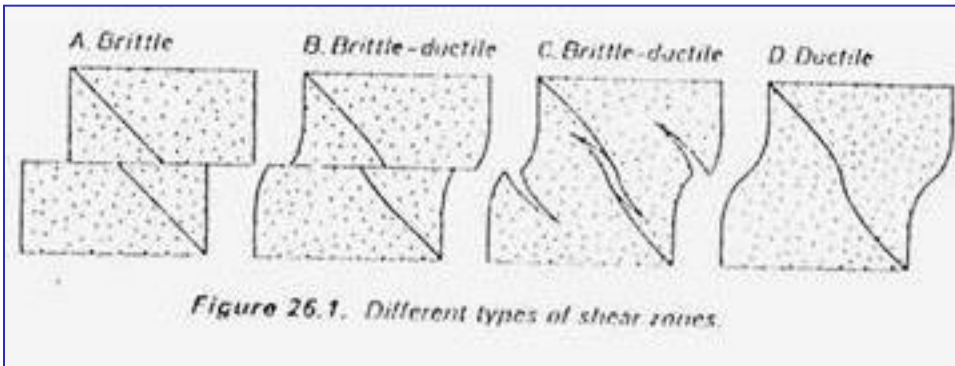


Ramsay y Huber (1987)

CIZALLA DÚCTIL

CIZALLA FRÁGIL-DÚCTIL

Indicadores cinemáticos en zonas de cizalla dúctil y frágil-dúctil

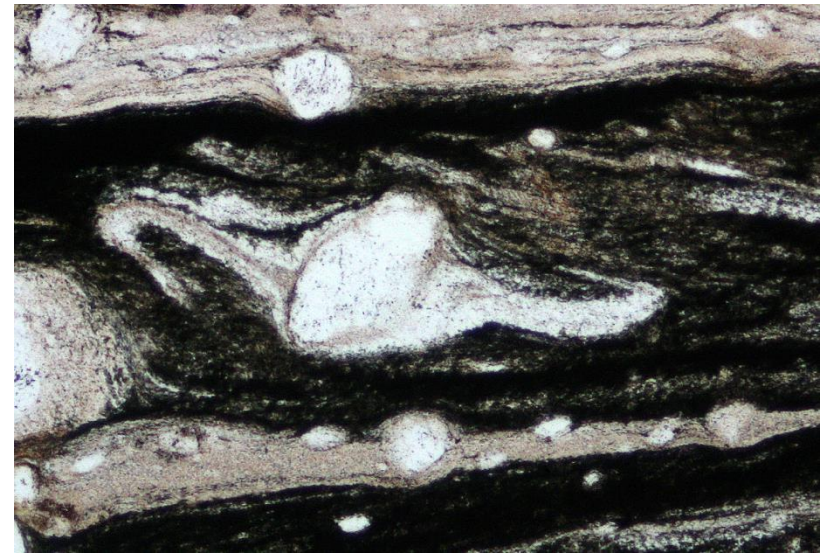


Zonas de cizalla dúctil y frágil-dúctil

Deformación frágil en feldespatos
Deformación dúctil en matriz micácea



Foto: F. Hongn



Clasto Tipo Delta



Clastos Sigma. Esquistos, El Volcán, San Luis



Boudinaje. Esquistos, San Luis



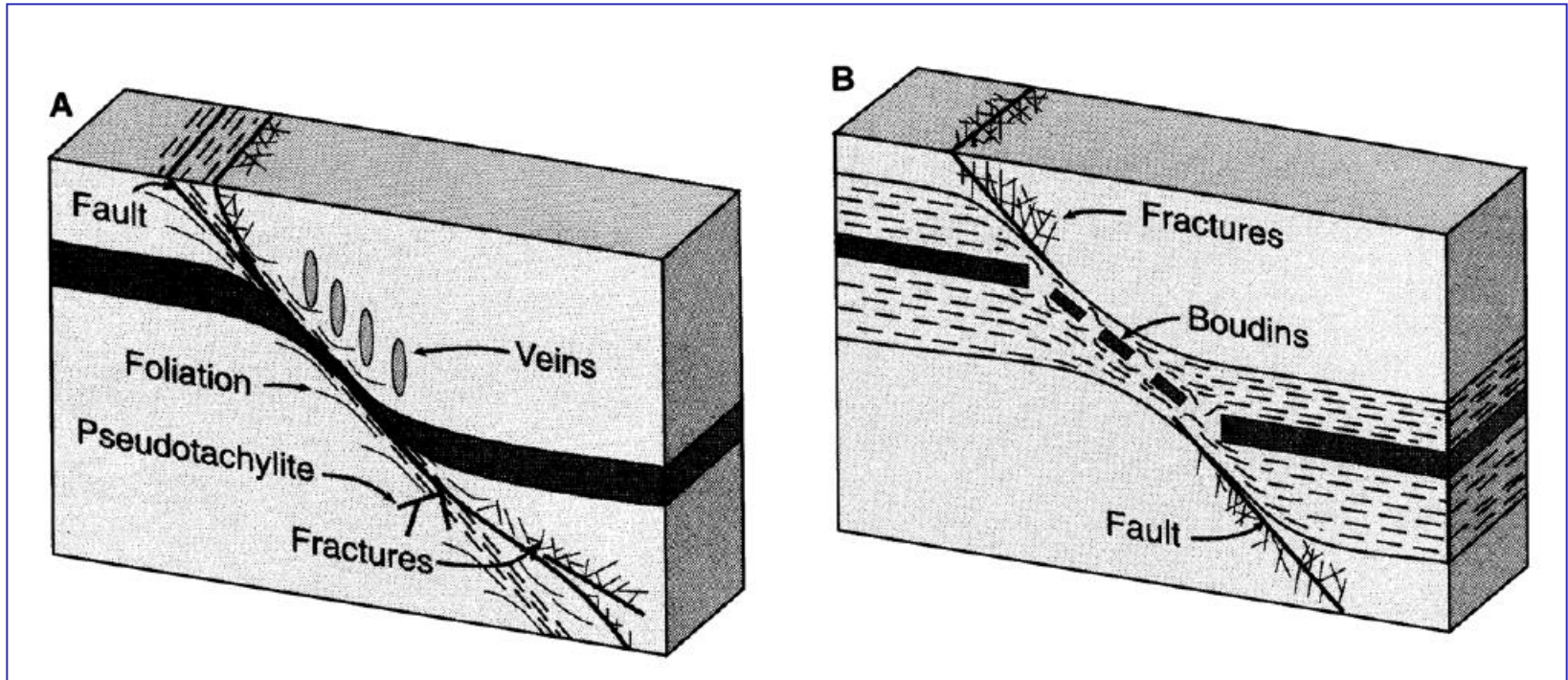
Boudinage. Filitas pizarrosas, Oslo, Noruega

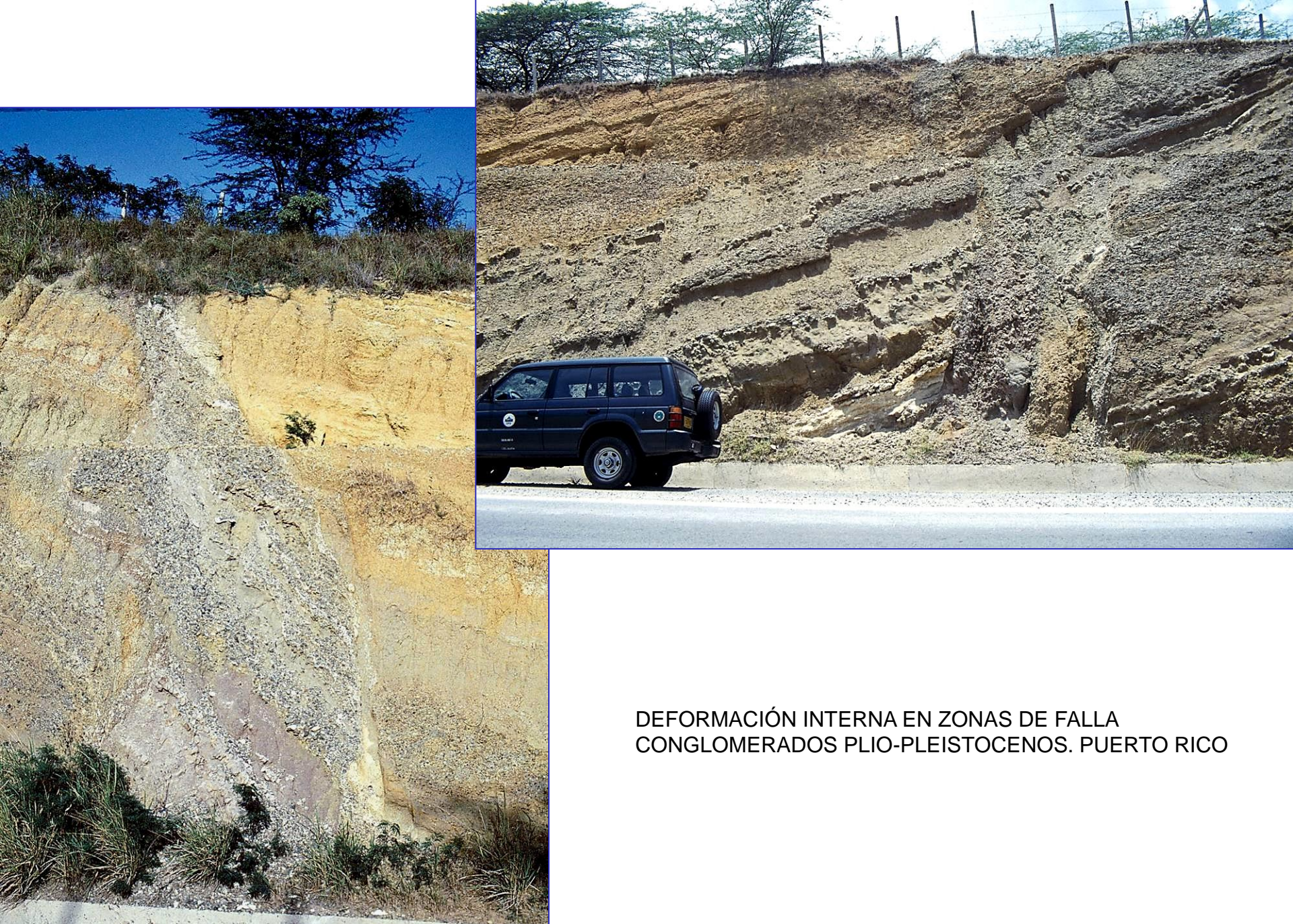


Aplanamiento en metaconglomerados.
Orogenia Greenville, Ontario, Canadá

ZONAS DE CIZALLA FRÁGILES-DÚCTILES

ZONAS DE DEFORMACIÓN DONDE COEXISTEN MATERIALES CON DIFERENTES COMPORTAMIENTOS MECÁNICOS





DEFORMACIÓN INTERNA EN ZONAS DE FALLA
CONGLOMERADOS PLIO-PLEISTOCENOS. PUERTO RICO

DEFORMACIÓN PROGRESIVA

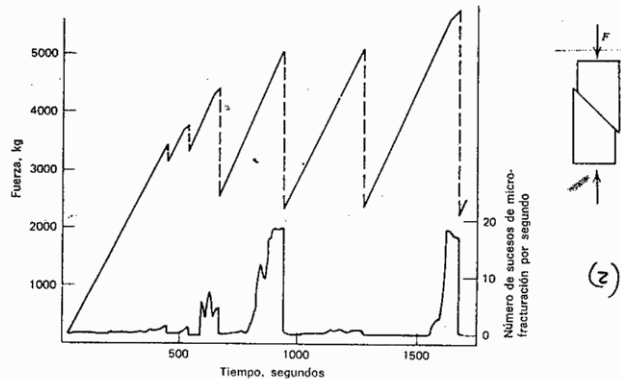
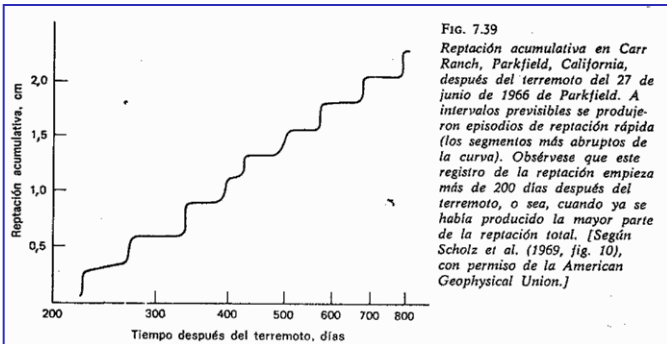
DESARROLLO DE LA DEFORMACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, CON EVENTUALES CAMBIOS ASOCIADOS EN EL ESTADO FÍSICO DE LOS MATERIALES



MODALIDADES DE DESPLAZAMIENTO DE LAS FALLAS

SALTOS BRUSCOS (STICK-SLIP) Y REPTACIÓN ASÍSMICA (ASEISMIC CREEP)

FACTORES CONTROLANTES DEL TIPO DE DESPLAZAMIENTO: PRESIÓN DE FLUIDOS, TIPOS LITOLÓGICOS, ANISOTROPÍAS EXISTENTES. EJEMPLO DEL TERREMOTO EN PARKFIELD, CALIFORNIA, 1966.



Deformación por creep asociado al trazo de la falla Calaveras, (Hollister, California)

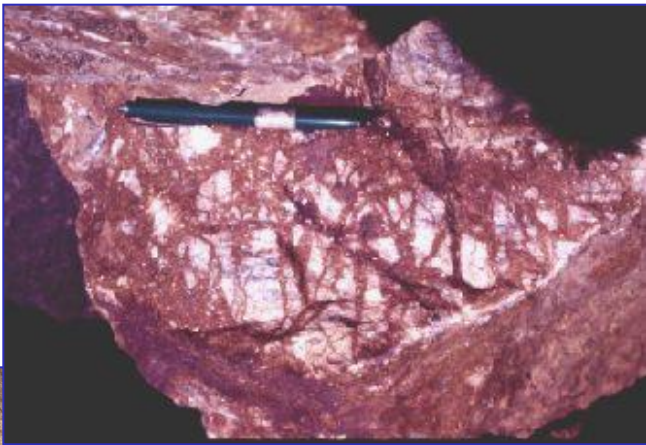


1979

FALLA HAYWARD, FREEMONT (CALIFORNIA)
(usgs.gov)



1983



**BOMBEO SÍSMICO
- BRECHAMIENTO HIDRÁULICO-**

IMPORTANTE EN LA MIGRACIÓN DE
FLUIDOS MINERALIZANTES

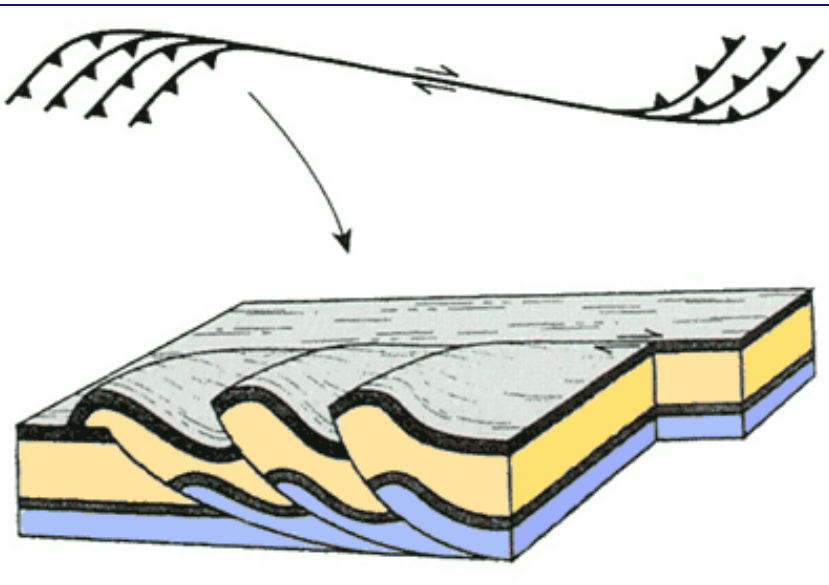
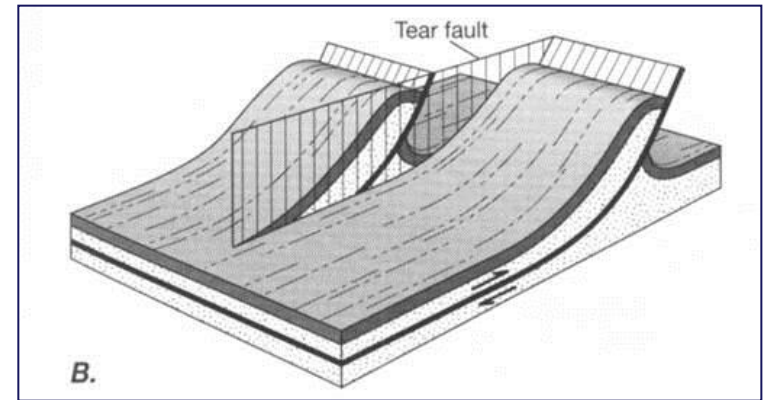
<< Texturas de brechas hidráulicas
en 'caparazón de tortuga'.
Sierras de El Gigante (arriba) y
Comechingones (abajo).



Texturas de microbrechas
(Massabie et al. 2006)
Rev. Asoc. Geol. Arg. >>>

Culminaciones de las fallas

Pueden terminar hacia arriba cortadas por estratos más jóvenes a través de una discordancia, distribuyendo su desplazamiento mediante plegamientos suprayacentes (pliegue por propagación de falla –ver capítulo Fajas Plegadas y Corridas en Asociaciones Estructurales)



Rampas de relevo en terremoto Emilia Romagna, Italia, 2012

Importancia de las fracturas en geología aplicada

- Minería, Obras de ingeniería, Riesgos geológicos en general y sísmicos en particular

Bibliografía complementaria sugerida

<https://folk.uib.no/nglhe/StructuralGeoBook.html>

BURBANK, D. y ANDERSON, R. (2001) Tectonic geomorphology. Blackwell, 274p.

DAVIS, G. (1984). Structural geology of rocks. J. Wiley. N.Y., 530 p.

FOSSEN, H. (2016) Structural Geology, 2nd Ed. Cambridge Univ. Press. 508p.

HOBBS, B. et.al. (1981). Geología estructural. Omega. Barcelona, 518 p.

JAROSZEWSKI, W. (1984). Fault and fold tectonics. Ellis, Horwood, 565 p.

MATTAUER, M. (1976). Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre. Omega, Barcelona, 524 p.

NICOLAS, (1986). Principles of rock deformation. Reidel, 235 p.

PARK, R. (1983). Foundations of structural geology. Blackie, London, 135 p.

SPENCER, E. (1977). Introduction to the structure of the earth. Mc.Graw, N. York, 640 p.

RAMSAY, J. and M. HUBER (1987). The techniques of modern structural geology, Vol II. Ac. Press.

TWISS, R. Y MOORES, E., 2007. Structural Geology, Freeman&Co.

van der PLUIJM, B. y MARSHAK, S. (1997) Earth structure. An introduction to structural geology and tectonics. McGraw-Hill, 495p

YEATS, R., SIEH, K. y ALLEN, C. (1996) The geology of earthquakes. Oxford Press, 652p.

Actualizado: 17.09.2018